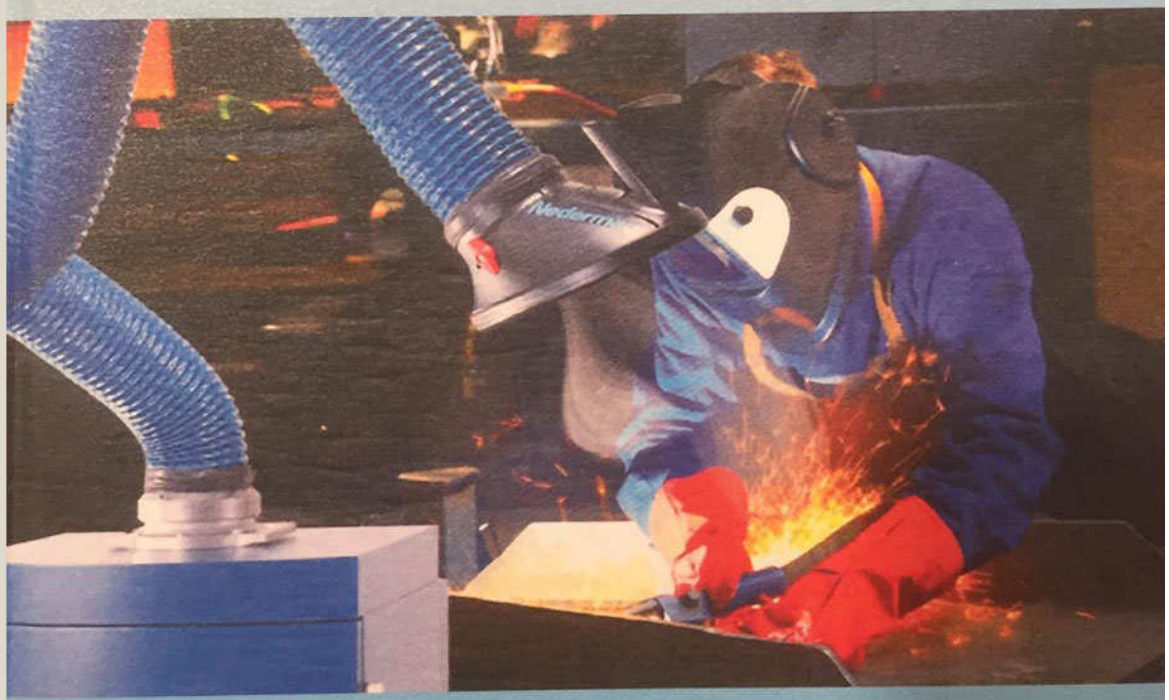
Ilie BOTEZ Alexandru MARIN
Ionel SÂRBU Alexei BOTEZ Victor JUC

SUDAREA ELECTRICĂ



Chișinău
Editura "TEHNICA-INFO"

621.791.4(075.8)
S 94

Recomandat de consiliul Ministerului Educaţiei al Republicii Moldova
nr. 06/15-970 de la 23.03.2011

Lucrarea este destinată elevilor şcolilor profesionale, studenţilor colegiilor şi instituţiilor de învăţământ superior pentru pregătirea profesională în domeniu.

REFRENŢI ŞTIINŢIFICI:

Prof.dr.ing. Hopulele Ion – Univ. Tehnică "Gh. Asachi", Iaşi
Prof.dr.ing. Paraschiv Dragoş - Univ. Tehnică "Gh. Asachi", Iaşi

Tehnoredactare: dr. ing. Vaculenco Maxim
ing. Murăraşu Marina
Coperta: Sârbu Paul

Descrierea CIP a Camerei Naţionale a Cărţii

Sudarea electrică: *[pentru uzul studenţilor] / Ilie Botez, Ionel Sârbu, Marin Alexandru [et al.]; Universitatea Tehnică a Moldovei; Republica Moldova, Universitatea Tehnică "Gh.Asachi", Iaşi, România. – Ch. : "Tehnica-Info", 2011 – 341 p.*

1000 ex

CZU 621.791.4(075.8)
S 94

ISBN 978-9975-63-296-6

© Autorii

Introducere

Sudarea cu arc electric este unul din cele mai răspândite procese tehnologice de confecţionare şi reparaţie a construcţiilor metalice din domeniile industriale, de construcţii şi transport. În comparaţie cu alte metode de realizare a lor (turnare, forjare, nituire ş.a.) construcţiile sudate se dovedesc a fi mai uşoare şi cu un volum de muncă mai scăzut; economia de metal fiind între10 până la 50%. Sudarea posedă universalitate, eficienţă, calitate şi productivitate înaltă.

Utilizarea construcţiilor metalice complexe (forjate-sudate, turnate-sudate, matriţate-sudate ş.a.) la care sudarea este operaţia de finisare, permite de a ridica considerabil productivitatea muncii şi eficienţa economică a producţiei.

Lărgirea continuă a volumului de aplicare al sudurii se realizează prin modificarea concepţiei constructive a unor produse cu schimbarea tehnologiei lor de fabricaţie, precum şi prin dezvoltarea şi aplicarea a noi procedee de sudare, respectiv prin îmbunătăţirea performanţelor procedeelor de sudare clasice.

În zilele noastre, sudarea a devenit un procedeu tehnologic capabil să satisfacă cerinţele înalte ale proceselor actuale de producţie.

Productivitatea proceselor de sudare creşte permanent datorită lărgirii considerabile a nivelului de mecanizare , automatizare şi robotizare a lor.

Procedeele de sudare sunt folosite pe o scară tot mai largă în domeniul reparaţiilor prin recondiţionarea pieselor uzate prin sudare, tăiere şi încărcare prin sudare.

În ţara noastră cadre calificate de muncitori se pregătesc în şcolile profesionale. Cunoştinţele obţinute în şcolile profesionale permit tinerilor muncitori să-şi însuşească rapid tehnica nouă, să înainteze propuneri de îmbunătăţire şi modernizare a construcţiilor maşinilor şi de perfecţionare a proceselor tehnologice.

Modificarea permanentă a tehnicii şi tehnologiei producţiilor sudate provoacă necesitatea îmbunătăţirii permanente şi sistematice a pregătirii profesionale a muncitorilor – sudori, ridicării calificării şi nivelului de cunoştinţe teoretice.

Capitolul 1
PROCEDEE DE SUDARE

Sudarea este realizarea îmbinărilor nedemontabile (a două sau mai multe piese) prin stabilirea legăturilor interatomice între suprafeţele îmbinate cu încălzirea sau deformarea plastică (sau încălzirea şi deformarea plastică) a lor. Metalul sau aliajul supus operaţiei de îmbinare prin sudare se numeşte *metal de bază*.

Metalul de adaos sub formă de sârmă, de vergele sau granule, după topire prin procesul de sudare, în amestec cu metalul de bază topit, formează *sudura*. La procedeele de sudare prin presiune sudura este formată numai din metalul de bază.

Noţiunea de sudare se extinde şi la îmbinări de materiale nemetalice sau la îmbinări de materiale metalice şi nemetalice. Sudura realizată se numeşte *cusătură* sau *cordon de sudură*. În apropierea sudurii, partea de material de bază care nu a ajuns în stare de topire, dar care a suferit transformări structurale din cauza încălzirii puternice formează *zona influenţată termic* (ZIT).

Sudarea pieselor sau ansamblurilor se execută prin diferite procedee. Prin *procedeu de sudare* se înţelege totalitatea operaţiilor tehnologice şi a metodelor folosite, cu scopul obţinerii îmbinării sudate. În cadrul unui procedeu de sudare, cu aceleaşi operaţii în multe cazuri este posibilă folosirea uneia din multiple metode de sudare. Alegerea metodei optimale la sudarea unui ansamblu are o influenţă majoră nu numai asupra calităţii sudurii, dar şi asupra productivităţii şi preţului de cost. Operatorul ce conduce un procedeu de sudare execută o serie de mişcări în timpul sudării. Mişcările necesare dirijării unui procedeu de sudare se numeşte *modul operator*.

1.1. Sudarea prin topire

În industrie şi construcţii pe larg se folosesc diferite procedee de sudare. Cea mai răspândită este sudarea prin topire, care are următoarele varietăţi principale:

- *sudarea cu arc electric*. Topirea metalului muchiilor pieselor, care se sudează şi a electrodului (sau materialului de adaos) se realizează cu căldura, care se elimină de la arcul electric care arde între electrod şi piesele de sudat. Sudarea cu arc electric se poate executa manual, mecanizat sau automatizat. Sudarea semiautomată şi automată poate fi executată sub start de flux sau în mediul gazelor de protecţie;

- *sudarea electrică în baie de zgură*. Topirea metalului de bază şi materialului de adaos se realizează din contul căldurii, care se elimină la trecerea curentului electric prin zgura topită (în perioada procesului

stabilizat);

- *sudarea cu fascicul de electroni*. Sudarea se execută în camere de vid. Căldura se elimină datorită bombardării zonei de sudare cu un torent de electroni, care capătă viteze mari într-o instalaţie de tensiune înaltă (cu putere de 50 KW). Ca anod serveşte piesa de sudat, iar ca catod o spirală sau o sârmă de Wolfram, care se încălzeşte până la 2300° C;

- *sudarea cu arc electric prin impulsuri*. Esenţa procedeului constă în aceea, că curentul de sudare nu are valoare constantă, dar pătrunde în arcul de sudare cu impulsuri scurte;

- *sudarea cu plasmă*. Topirea metalului se realizează cu un arc de sudare constrâns care are temperatura mai mare de 10000° C;

- *sudarea cu laser*. Topirea se realizează prin radiaţii, sursa termică constituind-o un fascicul laser. Fasciculul este focalizat printr-un sistem optic, zona de îmbinare plasându-se în dreptul focarului.

1.2. Sudarea prin presiune are următoarele variaţii:

- *sudarea prin rezistenţă de contact*. Locul sudării se încălzeşte cu căldura care se formează la trecerea curentului electric prin locurile în contact ale pieselor de sudat;

- *sudarea cu ultrasunete*. Sudarea se realizează datorită transformării cu intervenţia unui traducător special a oscilaţiilor ultrasonice în oscilaţii mecanice cu frecvenţă înaltă şi executarea unei presiuni neînsemnate;

- *sudarea prin frecare*. Datorită frecării unei bare de alta (care urmează să fie sudate), locul îmbinării se încălzeşte. La aplicarea forţei axiale piesele se sudează;

- *sudarea la rece*. Sudarea este bazată pe capacitatea metalelor de a forma cristale la presiuni mari;

- *sudarea cu gaze prin presiune*. Sudarea se realizează prin încălzirea capetelor barelor sau ţevilor pe tot perimetrul circumferinţei cu capuri multiflăcări până la starea plastică sau topire şi strângerea ulterioară reciprocă a pieselor;

- *sudarea cu termit*. Procesul de sudare constă în aceea, că piesele care urmează să fie sudate se aşează într-o formă rezistentă la foc, iar prin creuzetul instalat în partea superioară se alimentează cu termit–praf din aluminiu şi oxid de fier. La arderea termitului oxidul de fier se restabileşte, iar metalul topit umple forma, topeşte capetele pieselor de sudat. La răcire se formează sudura;

- *sudarea cu curenţii de înaltă frecvenţă*. Procesul constă în încălzirea capetelor barelor, cu curenţi de înaltă frecvenţă, până la starea plastică şi aplicarea ulterioară a forţelor axiale pentru realizarea sudării cap la cap.

Capitolul 2
TIPURI DE ÎMBINĂRI SUDATE

2.1. Clasificarea îmbinărilor sudate

Îmbinarea sudată este elementul construcţiei sudate compus din două sau câteva piese ale construcţiei şi cusătura sudată care fixează aceste piese.

În funcţie de poziţia în spaţiu a pieselor metalice îmbinările sudate se împart în: îmbinări cap la cap, îmbinări în colţ, îmbinări suprapuse şi îmbinări în "T" (fig. 2.1).

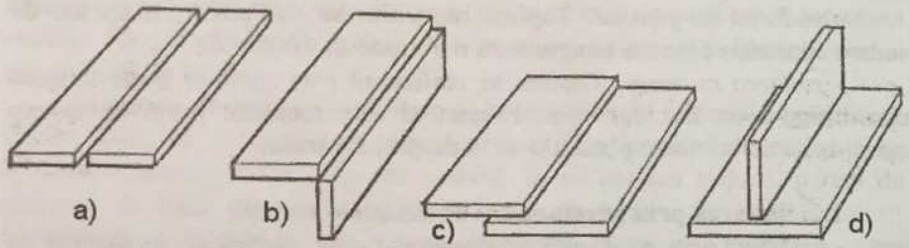


Fig. 2.1. *Tipuri de îmbinări sudate: a – cap la cap; b – în colţ; c – suprapuse; d – în T*

Îmbinările sudate cap la cap (fig. 2.1, a). În aceste îmbinări elementele de sudat se instalează într-un plan sau pe o suprafaţă.

Îmbinările cap la cap sunt cele mai răspândite şi se folosesc pentru confecţionarea coloanelor metalice, grinzilor, rezervoarelor orizontale şi verticale, conductelor de apă şi gaze şi construcţiilor de căi ferate. Îmbinările cap la cap pe larg se folosesc în construcţia de maşini (tractoare, combine, maşini agricole etc.) şi de asemenea, la fabricarea navelor aeronautice, maritime, staţiilor electrice ş.a.

Conform formei pregătirii rostului pieselor care urmează să fie sudate, îmbinările cap la cap pot fi cu bordurare, fără teşirea uneia sau ambelor muchii, în "V" cu teşituri liniare sau curbilinii, (sudarea în "U"), cu tăierea în "K" a capătului unei piese, cu tăierea în "X" a capetelor ambelor piese (liniar sau curbiliniu) (fig. 2.2, a).

Conform metodei de realizare a sudurii îmbinările cap la cap pot fi dintr-o parte sau din două părţi (cu eclise sau fără eclise).

Îmbinările în colţ (fig. 2.1, b). Îmbinarea sudată a două elemente, aşezate sub un unghi drept şi sudate în locul racordării capetelor lor, se numeşte îmbinare în colţ. Îmbinările în colţ sunt răspândite în construcţiile metalice : coloane, grinzi, rezervoare, cazane, conducte etc.

Conform formei pregătirii rostului pieselor de sudat, îmbinările în colţ pot fi cu bordurare, fără teşirea muchiilor, cu teşirea capătului unei piese din două părţi, cu teşirea capătului unei piese dintr-o parte. Conform metodei de

realizare, îmbinările în colţ pot fi dintr-o parte sau din ambele părţi (fig. 2.2, b).

Îmbinările suprapuse (fig. 2.1, c). Îmbinările sudate în care suprafeţele care urmează să fie sudate sunt aşezate paralel şi suprapuse se numesc îmbinări suprapuse. Valoarea suprapusă poate fi 3...240 mm şi depinde de grosimea pieselor sudate. Îmbinările suprapuse sunt răspândite în construcţia de maşini (tractoare, autovehicule, maşini agricole etc.) şi de asemenea la confecţionarea grinzilor, coloanelor, rezervoarelor etc.

Îmbinările în „T" (fig. 2.1, d). În aceste îmbinări una din piesele îmbinării cu capătul său se aşează pe suprafaţa altei piese şi se sudează, formând în secţiune un „T". Îmbinările în „T" se întâlnesc în coloane, grinzi, rezervoare verticale şi de asemenea, în construcţia de maşini.

Conform formei pregătirii rostului îmbinărilor în „T" pot fi fără teşirea muchiilor, cu teşirea unei sau ambelor muchii ale unei piese de îmbinat (fig. 2.2).

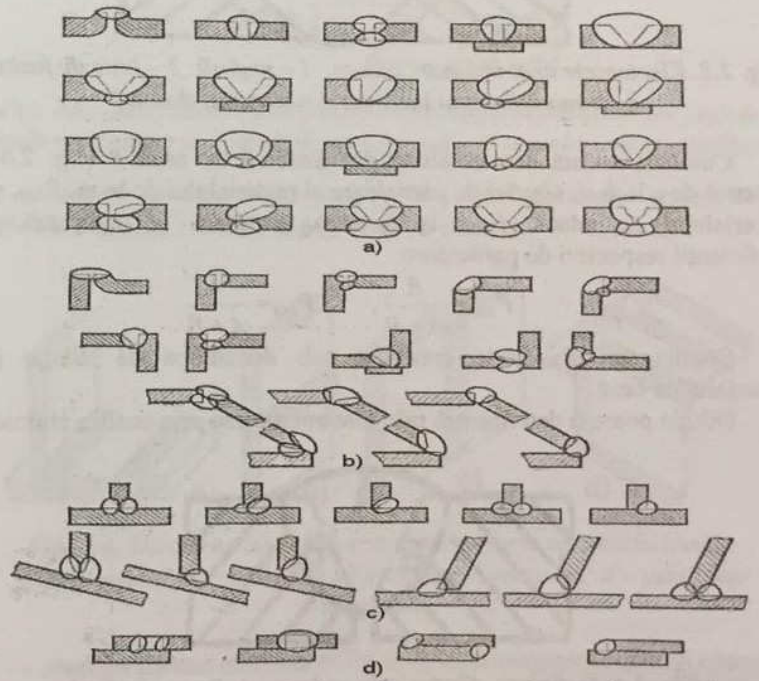


Fig. 2.2. *Tipuri de îmbinări sudate: a – cap la cap; b – în colţ; c – în „T"; d – suprapuse*

2.2. Părţile componente ale sudurilor realizate cu arc electric

Prin sudare rezultă o îmbinare sudată sau sudură, ca urmare a

coalescenţei localizate a metalelor, produsă fie prin încălzirea acestora la o anumită temperatură cu sau fără aplicarea simultană a unei presiuni, cu sau fără utilizarea unui material de adaos.

Îmbinarea sudată se compune din următoarele elemente (fig. 2.3):

- *sudura sau cusătura sudată 1* – zona îmbinării în care se realizează unirea pieselor;
- *linia de fuziune 2* – care delimitează sudura de materialul de bază;
- *zona influenţată termic 3* (ZIT) – porţiunea din metalul de bază rămasă în stare solidă, dar a cărei structură s-a modificat în urma sudării;
- *materialul de bază 4* (MB) – materialul pieselor care se sudează.

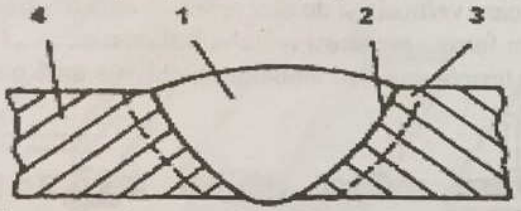


Fig. 2.3. *Elementele unei îmbinări sudate: 1 – sudură; 2 – linie de fuziune; 3 – zona influenţată termic; 4 – material de bază*

Cusătura sudată este alcătuită din material de bază *B* (fig. 2.4) şi material de adaos *A*. Gradul de participare al materialului de bază, P_{MB}, şi al materialului de adaos, P_{MA}, la formarea cusăturii se apreciază prin coeficienţii respectivi de participare:

$$P_{MB}=\frac{B}{A+B}; \qquad P_{MA}=\frac{A}{A+B}$$

Coeficientul P_{MB} este cunoscut sub denumirea de *diluţie* prin materialul de bază.

Diluţia poate fi determinată prin planimetrie sau prin analiza chimică.

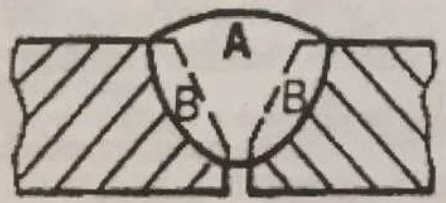


Fig. 2.4. *Definirea diluţiei prin sudare: A, B – suprafeţele porţiunilor metalului de adaos şi de bază*

Toate îmbinările sudate prezentate mai sus se realizează prin cusături care prezintă un strat de metal solidificat, care uneşte elementele construcţiei sudate.

Cusăturile sudate se împart după următoarele criterii:

- *conform poziţiei faţă de forţa acţionantă* în: paralele, frontale, combinate şi înclinate. În cusăturile paralele, forţele acţionante acţionează paralel cu axa cusăturii, iar în cele frontale axa cusăturii este perpendiculară faţă de direcţia forţei acţionante (vezi săgeţile din fig. 2.5). Cusăturile combinate prezintă o combinaţie a cusăturilor frontale şi paralele. La cusătura înclinată, axa cusăturii este aşezată faţă de direcţia forţei acţionante sub un unghi;

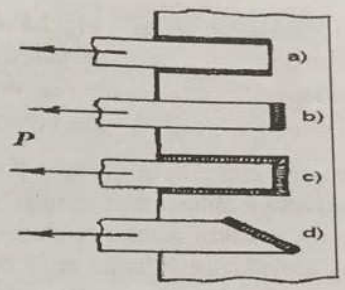


Fig. 2.5. *Clasificarea cusăturilor sudate conform poziţiilor lor faţă de forţele acţionante: a – paralele; b – frontale; c – combinate; d – înclinate*

- *conform poziţiei în spaţiu* (fig. 2.6) în: orizontale, orizontale pe perete (în cornişă), verticale şi peste cap (în plafon);

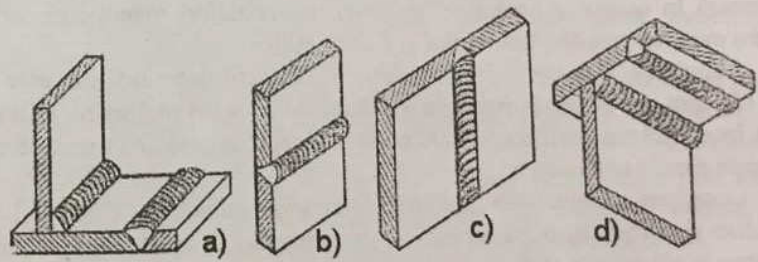


Fig. 2.6. *Divizarea cusăturilor sudate conform poziţiei în spaţiu: a -orizontale; b – orizontale pe perete; c – verticale; d – peste cap (de plafon)*

- *conform formei exterioare* (fig. 2.7) în: concave, normale şi convexe;

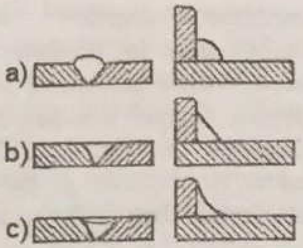


Fig. 2.7. *Divizarea cusăturilor sudate conform formei exterioare: a – concave; b – normale; c – convexe*

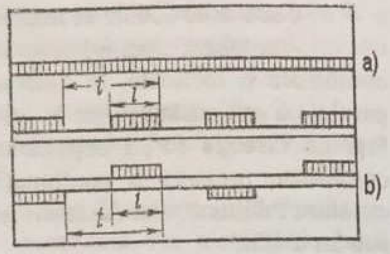


Fig. 2.8. *Divizarea cusăturilor sudate după continuitate: a – continue (neîntrerupte); b – întrerupte*

- *conform continuităţii* (fig. 2.8) în: continue şi intermitente.

Cusăturile concave au o tăietură mai mare şi se numesc forţate. Însă concavitatea prea mare a cusăturii deseori conduce la apariţia concentrării tensiunilor în locurile trecerilor neuniforme de la cusătură către suprafaţa componentelor sudate. Cusăturile convexe (slăbite) se utilizează, ca regulă, în îmbinări unghiulare (în unghi). Cusăturile normale după tăietură corespund datelor calculate şi sunt adoptate ca tipul de bază al cusăturii sudate. Cusăturile intermitente se utilizează în cazurile când cusătura nu este de rezistenţă (sudarea grilajelor, mantalelor, etc.), sau atunci când conform calculelor de rezistenţă nu este necesară o cusătură continuă. Ele se utilizează în scopul economisirii energiei, materialelor, manoperei, cât şi pentru evitarea apariţiei tensiunilor şi deformaţiilor.

Lungimea *l* a porţiunilor sudate a cusăturii intermitente este de 50...150 mm, iar distanţa dintre ele se adoptă de două ori mai mare. Distanţa de la începutul cusăturii precedente până la începutul cusăturii următoare se numeşte pasul t al cusăturii.

- *conform configuraţiei* cusăturile îmbinărilor sudate pot fi rectiliniare, circulare şi curbilinii; după lungime – intermitente şi continue. Cusăturile continue la rândul său se împart în scurte, medii şi lungi (fig. 2.9).

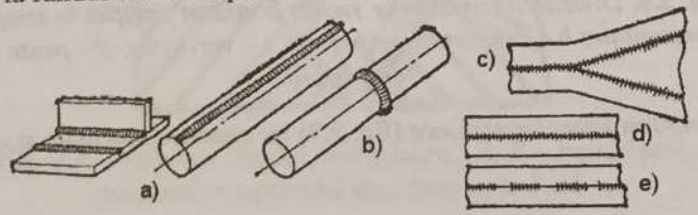


Fig. 2.9. *Clasificarea cusăturilor îmbinărilor sudate conform configuraţiei şi lungimii: a – rectiliniare; b – circulare; c – curbilinii; d – continue; e – intermitente*

- *conform numărului de straturi şi rânduri depuse*: dintr-o parte, din două părţi, multistraturi şi multistraturi – multitreceri (fig. 2.10);

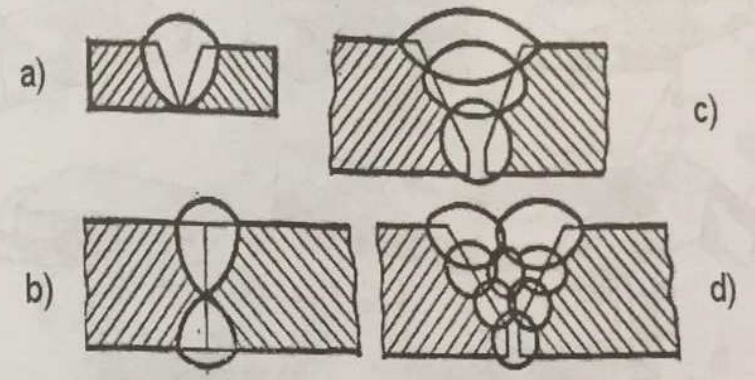


Fig. 2.10. *Clasificarea cusăturilor sudate conform numărului de straturi şi treceri: a – dintr-o parte, b – din două părţi; c – multistraturi; d – multistraturi – multitreceri*

- *conform materialului care urmează să fie sudat* cusăturile îmbinărilor sudate se împart în cusături pentru îmbinarea oţelurilor carbon şi oţelurilor aliate; cusături pentru îmbinarea metalelor neferoase; cusături pentru îmbinarea bimetalelor; cusături pentru îmbinarea materialelor plastice;

- *conform metodei de realizare a* cusăturilor sudate acestea se împart în cusături executate (fig. 2.11): prin sudare manuală cu arc electric (cu electrod învelit); prin sudare automată sub strat de flux; prin sudare electrică în baie de zgură; prin sudare cu electrod în gaze de protecţie; prin sudare prin electrod - contact cap la cap; prin sudarea electrocontact în puncte; prin sudare cu fascicul de electroni; prin sudare prin presiune la rece ş.a.;

- *conform metodei de susţinere a metalului topit în timpul sudării*, cusăturile îmbinărilor sudate se împart în cusături realizate (fig. 2.12):

- fără susţinerea metalului băii topite;
- cu depunerea manuală la rădăcină a unui strat de sudură (rădăcină), care acţionează ca suport pentru straturile următoare;
- cu utilizarea suporturilor fixe sau demontabile din oţel, cupru, ceramică, azbest şi de asemenea, cu pernă din flux sau protecţie de gaze.

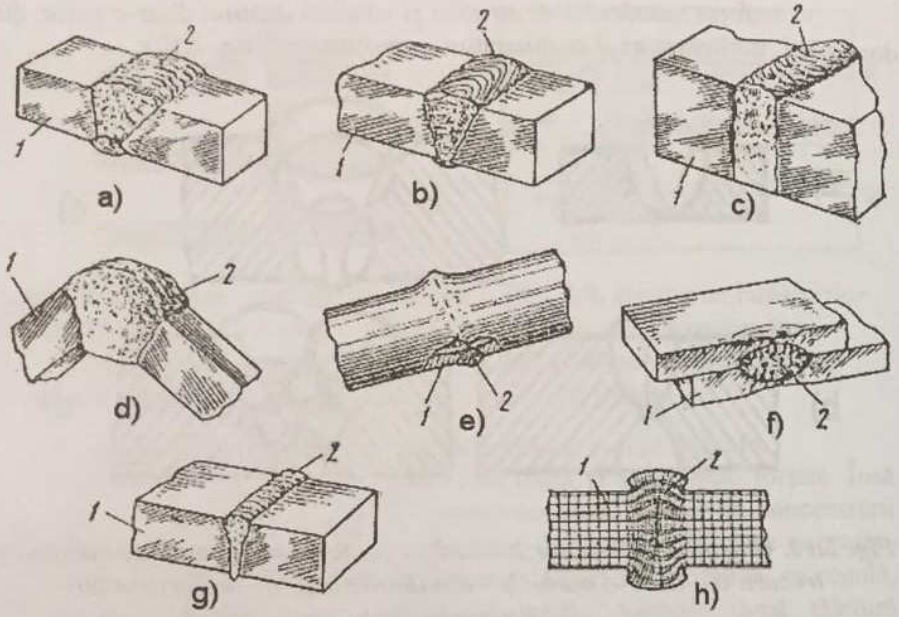


Fig. 2.11. *Aspecte ale unor îmbinări sudate prin diferite procedee: a – manuală cu arc electric; b – automată sub un strat de flux; c – electrică sub un strat de zgură; d – cu electrod nefuzibil în gaz de protecţie (argon) fără sârmă de adaos; e – cu electrocontact cap la cap; f – cu electrocontact în puncte; j – cu fascicul de electroni; h – prin presare (la rece) cap la cap pentru aluminiu (plasa prezintă schema de deformare a metalului): 1 – metalul de bază; 2 – cusătura sudată*

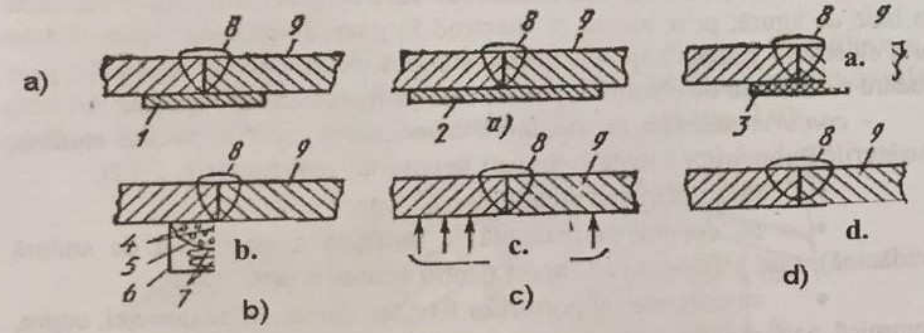


Fig. 2.12. *Metode de susţinere a metalului topit în timpul sudării: a – cu suporturi; b – pe pernă de flux; c – prin suflarea gazului de protecţie sub presiune; d – fără susţinere*

- *conform destinaţiei în ansamblu finit* ele se împart în cusături lucrative (fig. 2.13, a, c) şi cusături de legătură (fig. 2.13, b, d).

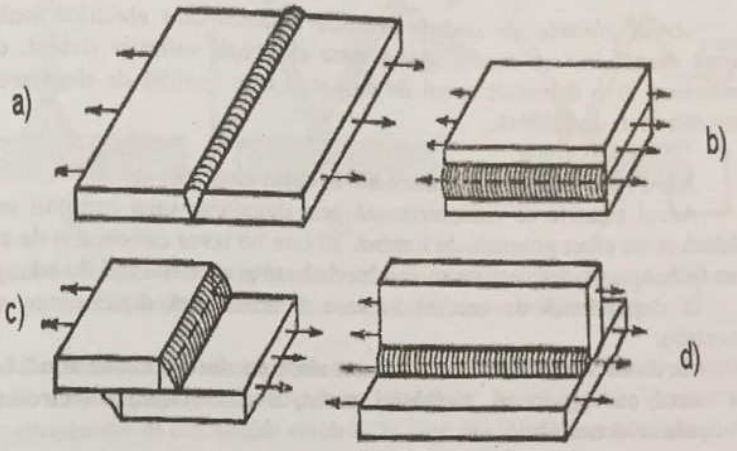


Fig. 2.13. *Cusături de lucru (a, c) şi cusături de legătură (b, d)*

Cusăturile de rezistenţă (de forţă) sunt supuse acţionărilor forţelor în timpul funcţionării ansamblului sudat. Ele trebuie să opună rezistenţă acestor forţe şi să reziste.

Cusăturile de legătură nu sunt destinate transmiterii forţelor în timpul funcţionării construcţiei sudate. Defectele în aceste cusături nu conduc la deteriorarea construcţiei sudate. Metalul cusăturii sudate (de legătură) sub acţiunea forţelor exterioare se deformează împreună cu metalul de bază. În ele apar tensiuni aproximativ deopotrivă. Metalul de bază şi metalul cusăturii lucrează împreună. Tensiunile care acţionează în cusăturile sudate de legătură, nu sunt periculoase pentru rezistenţa construcţiei.

Capitolul 3
ARCUL ELECTRIC DE SUDARE

Arcul electric de sudare prezintă o descărcare electrică stabilă de lungă durată într-un mediu gazos între electrozii solizi şi lichizi, care se realizează la o densitate mare de curent şi este însoţită de degajarea unei cantităţi mari de căldură.

3.1. Proprietăţile de sudare ale arcului electric

Arcul electric se caracterizează prin degajarea unei cantităţi mari de căldură şi un efect puternic de lumină. El este un izvor concentrat de căldură şi se foloseşte pentru topirea metalului de bază şi materialului de adaos.

În dependenţă de mediul în care se realizează descărcarea arcului deosebim:

- *arc descoperit*, care arde în aer, unde mediul gazos al zonei arcului este aerul cu vapori ai metalului sudat, a materialului electrodului şi învelişului electrodului;
- *arc acoperit,* care arde sub un strat de flux, unde componenţa mediului gazos a zonei arcului constă din vapori ai metalului de bază, sârmei şi fluxului de protecţie;
- *arc* care arde în medii de gaze protectoare (componenţa mediului zonei arcului include atmosfera gazului de protecţie, vaporii sârmei – electrod şi ai metalului de bază topit).

Arcele de sudare se clasifică conform felului curentului (continuu, alternativ, cu trei faze) şi după durata de ardere (staţionar şi cu impulsuri). La utilizarea curentului continuu deosebim arc cu polaritate directă şi inversă. La sudarea cu *polaritate directă* polul negativ (minus) al circuitului electric – catod – se leagă la electrod, iar cel pozitiv (plus) – anod – la piesa care urmează să fie sudată. La *polaritatea inversă* – plus la electrod, iar minus la piesă.

În dependenţă de tipul electrodului utilizat arcul se poate amorsa între electrozii *fuzibili* sau *nefuzibili.* Conform principiului funcţionării arcelor de sudare pot fi cu acţionare directă, indirectă şi combinată (fig. 3.1).

Arcul cu acţionare directă arde între electrod şi piesa sudată (fig. 3.1, a). Arcul cu acţionare indirectă arde între doi electrozi (fig. 3.1, b). Arcul cu acţionare combinată (fig. 3.1, c) este o îmbinare a arcelor cu acţionări directă şi indirectă. Exemplu de arc combinat poate fi arcul trifazat la care două arce leagă electrozii cu piesa, iar al treilea arde între doi electrozi, izolaţi unul de altul.

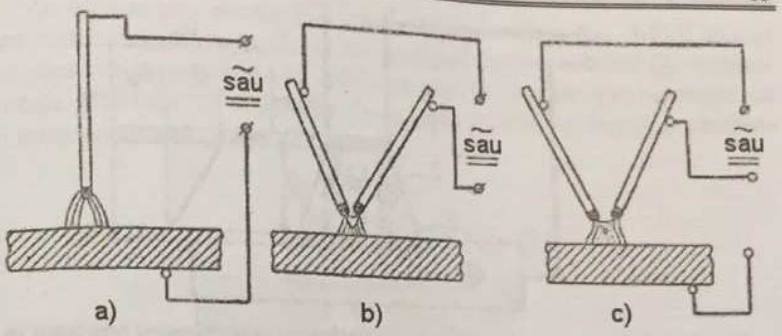


Fig. 3.1. *Scheme ale arcelor electrice: a – cu acţionare directă; b – cu acţionare indirectă; c – cu acţionare combinată*

3.2. Amorsarea arcului electric se realizează prin două metode: atingerii directe şi prin scurtcircuitare (fig. 3.2). Arcul electric prezintă un sector consecutiv al circuitului electric, în care are loc căderea tensiunii (fig. 3.3).

Intervalul arcului se împarte în trei zone principale: anodică, catodică şi coloana arcului. În timpul arderii (descărcării) arcului pe electrod şi pe materialul de bază (piesa) se evidenţiază *pete active,* care prezintă nişte pete încălzite cel mai puternic ale electrodului şi ale metalului de bază prin care trece tot curentul arcului. Pata activă de pe catod se numeşte catodică, iar cea de pe anod – anodică.

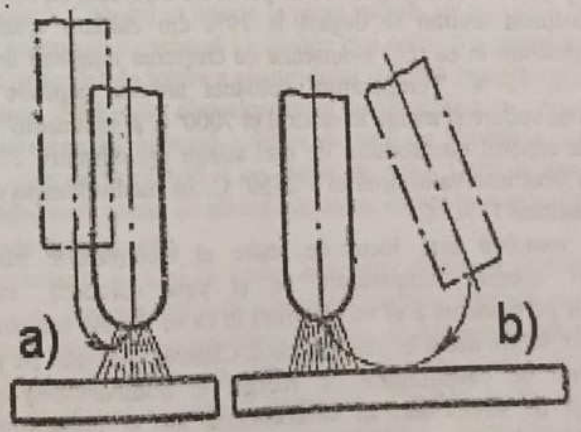


Fig. 3.2. *Scheme de amorsare a arcului electric: a – prin atingere directă; b – prin scurtcircuitare*

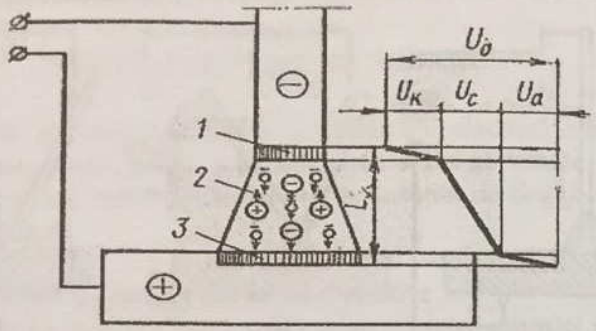


Fig. 3.3. *Schema arcului electric de sudare şi repartizarea tensiunii în zonele lui: 1 – pată catodică; 2 – coloana arcului; 3 – pata anodică (cu cercuri mici sunt însemnaţi electronii, iar cu cercuri mari ionii încărcaţi pozitiv şi negativ)*

Pata catodică este sursa unui torent de electroni liberi. Temperatura ei la electrozii din oţel atinge 2400 - 2600° C. În pata catodică se degajă la 38% din toată cantitatea de căldură a arcului. Căderea tensiunii pe ea (U_k) este legată cu consumuri la emisia şi accelerarea electronilor şi constituie 12...17 V.

Coloana arcului prezintă un conductor de curent electric. În ea electronii liberi şi ionii cu încărcături negative se deplasează spre anod, iar ionii încărcaţi pozitiv se deplasează spre catod. În fond coloana arcului nu are încărcătura electrică. În fiecare tăietură transversală a coloanei arcului simultan se găsesc aceleaşi numere de particule încărcate cu semne opuse.

În coloana arcului se degajă la 20% din căldura totală a arcului. Căderea tensiunii în ea (U_c) avansează cu creşterea lungimii arcului (L) şi constituie 2...12 V. Temperatura coloanei arcului depinde de puterea curentului de sudare şi atinge în centrul ei 7000° C şi mai mult. Temperatura picăturii la capătul electrodului de oţel atinge aproximativ 2150°C, iar la trecerea ei prin intervalul arcului - 2350° C. În medie temperatura băii de sudură constituie 1770° C.

Pata anodică este locul de ieşire al electronilor liberi. Ea are aproximativ aceeaşi temperatură ca şi pata catodică, însă datorită bombardării permanente a ei cu electroni în ea se degajă mai multă căldură (aproximativ 42%), decât în pata catodică. Căderea tensiunii pe pata anodică (U_a) depinde de consumurile de energie la bombardarea anodului cu electroni, şi de asemenea, la neutralizarea lor şi constituie 2...11 V. Suprafaţa petei anodice are formă concavă, care se numeşte crater. Căderea totală a tensiunii în coloană U_o constituie:

$$U_o = U_k + U_c + U_a \approx 16...40\ V$$

La alimentarea arcului cu curent electric continuu (fig. 3.4). Cea mai mare cantitate de căldură (42...43 %) se degajă în zona anodică Q_a. Aceasta se explică prin faptul că anodul se supune unei bombardări mai puternice, cu particule încărcate, decât catodul. În coloana arcului se degajă o cantitate mai mică de căldură Q_c (20...21%).

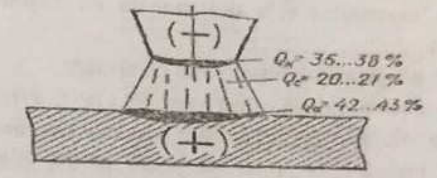


Fig. 3.4. *Schema regimului de temperaturi la alimentarea arcului cu curent electric continuu*

La sudarea cu electrod din cărbune temperatura în zona catodică atinge 3200°C, iar în zona anodică – 3900°C. În coloana arcului temperatura atinge 6000°C. La sudarea cu electrozi metalici temperatura zonei catodice constituie 2400°C, iar a zonei anodice - 2600°C. Temperatura diferită a zonelor catodică şi anodică şi eliminarea diferitor cantităţi de căldură în aceste zone se utilizează pentru realizarea diferitor sarcini tehnologice. La sudarea pieselor, care necesită o cantitate avansată de căldură pentru încălzirea muchiilor, se foloseşte polaritatea directă, la care anodul (clema plus a sursei de curent) se uneşte la electrod. La sudarea pieselor subţiri şi de asemenea, oţelurilor care nu permit supraîncălzire (inoxidabile, refractare, cu conţinut avansat de hidrogen etc.) se foloseşte sudarea cu polaritate inversă. Catodul se uneşte la piesa sudată, iar anodul – la electrod. În acest caz nu numai se asigură încălzirea mai scăzută a piesei sudate , dar şi avansează procesul de topire a electrodului datorită temperaturii mai mari a zonei anodice. Polaritatea clemelor sursei de alimentare cu curent continuu se poate determina cu ajutorul soluţiei de sare de bucătărie (jumătate de linguriţă de sare de bucătărie la un pahar de apă). Dacă în aşa soluţie se introduc conductorii sursei de curent continuu, atunci la conductorul negativ se elimină bule de hidrogen.

La alimentarea arcului cu curent alternativ diferenţa de temperaturi la anod şi la catod lipseşte datorită schimbării petelor anodică şi catodică cu frecvenţa egală frecvenţei curentului. Practica ne demonstrează, că în medie la sudarea manuală numai 60...70% din cantitatea totală de căldură se utilizează la încălzirea şi topirea metalului. Cealaltă parte de căldură se dispersează în mediul înconjurător prin radiaţie şi convecţie cu vapori de metal şi gaze încălzite.

Căldura degajată de arcul electric, se concentrează într-un spaţiu relativ redus şi realizează încălzirea locală concentrată a metalului din zona

БИБЛИОТЕКА
ИНВ. № 48(radzuțeei
stopa)

arcului. Cealaltă parte de metal a piesei sudate se încălzeşte neînsemnat. Cu căldura arcului de sudare metalul electrodului şi muchiilor pieselor se topeşte formând o baie comună de metal topit, care, după solidificare, formează cusătura sudată (cordonul de sudare).

Un mediu gazos conduce curentul electric doar atunci când este ionizat. Trecerea curentului este determinată de deplasarea particulelor încărcate, în spaţiul dintre electrozi.

Electronii în acest spaţiu pot proveni ca urmare a:

- emisiei de electroni de la catod (*electroni primari*);
- ionizării gazului din spaţiul arcului (*electroni secundari*).

Pentru ca un electron liber să poată părăsi corpul metalic care formează catodul, el trebuie să posede o energie cinetică suficientă pentru a străbate bariera de potenţial de la suprafaţa metalului.

Electronii pot dobândi această energie cinetică pe mai multe căi:

- încălzirea metalului la temperaturi înalte (termoemisie);
- bombardarea metalului cu particule care au energii mari;
- aplicarea unor câmpuri intense la suprafaţa limită.

În arcul electric condiţiile necesare unei puternice emisiuni de electroni sunt asigurate în tot decursul procedeului de sudare, începând de la aprinderea arcului electric.

La început, electrodul se aduce în contact cu piesa, provocând astfel un scurcircuit (fig. 3.5, a). Contactul se realizează pe rugozităţile suprafeţelor electrodului şi ale piesei sudate. Contactul dintre electrod şi piesă nu are loc pe toată suprafaţa, de aceea curentul de aprindere a arcului are la început o densitate mare. El provoacă încălzirea puternică a zonelor învecinate suprafeţelor în contact manifestată prin topire locală şi crearea unei pelicule de metal topit (*fig. 3.5, b*) care închide circuitul reţelei de sudat „electrod – piesă care se sudează".

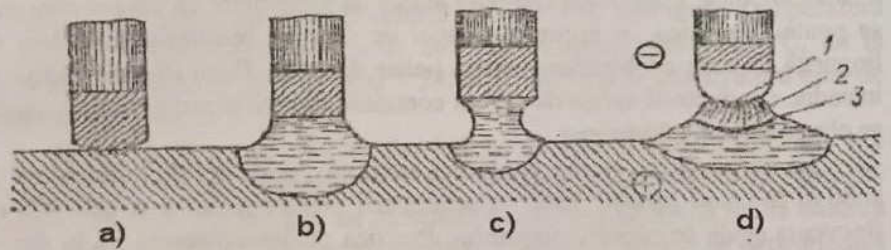


Fig. 3.5. *Scheme de amorsare ale arcului electric la sudare:*
1 – zona anodică; 2 – coloana arcului; 3 – zona catodică

La îndepărtarea ulterioară a electrodului de la suprafaţa piesei la distanţa de 2...4 mm (fig. 3.5, c) pelicula de metal topit se întinde, iar secţiunea ei se micşorează. Drept rezultat se măreşte densitatea curentului

electric şi creşte temperatura metalului. Această situaţie conduce la ruperea peliculei şi evaporarea metalului topit. Emisia intensivă termoelectronică asigură ionizarea vaporilor de metale şi gaze din coloana dintre electrozi. În coloana dintre electrozi apare arcul electric de sudare (fig. 3.5, d). Procesul de amorsare a arcului este de scurtă durată şi se realizează de sudor într-o fracţiune de secundă. În arcul electric stabilizat (vezi fig. 3.5, c) deosebim trei zone: anodică *1*, catodică *3* şi coloana arcului *2*. Zona catodică cu lungimea de 10^{-5} cm se începe de la capătul incandescent al catodului pe care este pata catodică. De pe ea zboară un torent de electroni, care realizează ionizarea arcului. Densitatea curentului pe pata catodică atinge 60...70 A/mm^2. Către catod se deplasează un torent de ioni pozitivi, care îl bombardează şi îi transmit lui energia sa, asigurând încălzirea până la temperatura de 2500...3000° C. Spre pata anodică se îndreaptă torente de electroni şi îi transmite energia. Anodul se încălzeşte până la temperatura de 2500...4000° C. Coloana arcului, instalată între zona catodică şi zona anodică, este compusă din particule incandescente. În momentul iniţial pentru amorsarea arcului electric este necesară tensiune mai mare decât pentru arderea lui ulterioară. Aceasta se întâmplă din cauza că la amorsarea arcului jocul cu aer dintre electrozi este încălzit nesatisfăcător şi nivelul de ionizare este scăzut. În legătură cu aceasta este necesară o tensiune mai avansată, care ar fi în stare să transmită electronilor liberi cantitatea corespunzătoare de energie, pentru ca la lovirea lor cu atomii intervalului gazos să se producă ionizarea.

Avansarea concentrării electronilor liberi în volumul arcului conduce la intensificarea ionizării coloanei arcului şi la ridicarea conductibilităţii electrice. Datorită acestui fapt, tensiunea curentului scade până la mărimea necesară pentru arderea stabilă a arcului. Dependenţa dintre tensiunea arcului şi mărimea curentului în circuitul de sudare se numeşte *caracteristică statică a arcului electric*.

3.3. Cerinţele comune către sursele de alimentare ale arcului electric

Cerinţe către sursele de alimentare. Sursele de alimentare ale arcului de sudare trebuie:

- să asigure amorsarea uşoară şi arderea stabilă a arcului în perioada sudării;
- să asigure puterea necesară a curentului şi tensiunii de sudare pentru realizarea procesului tehnologic de sudare;
- să aibă aspectul exterior necesar al caracteristicii statice;
- să aibă proprietăţi dinamice – posibilităţi de restabilire a tensiunii în arc după momentul de scurtcircuit (în acest moment tensiunea este egală cu zero);

- să fie comode pentru reglarea puterii curentului de sudare.

Pentru asigurarea amorsării normale şi arderii stabile a arcului tensiunea mersului în gol (circuitul de sudare este decuplat) trebuie să fie de 2...3 ori mai mare decât tensiunea arcului. Ca regulă, tensiunea arcului constituie 18...35 V. În acelaşi timp tensiunea la clemele sursei (în învoieli normale de lucru a sudorului) trebuie să fie fără pericol.

Ca regulă, această tensiune este de 50...80 V. Proprietăţile dinamice ale sursei de energie, adică timpul de restabilire a tensiunii trebuie să fie nu mai mare de 0,05 s. Existenţa în transformator a mecanismului de reglare nu permite întotdeauna reglarea lină a puterii curentului. De aceea, în multe cazuri în reţeaua de sudare se introduc reostate de balast. Reostatele de balast permit reglarea lentă a curentului de sudare şi îmbunătăţesc caracteristica statică a sursei de alimentare la sudare manuală cu arc electric.

3.4. Caracteristicile statice exterioare ale surselor de alimentare ale arcului electric

Caracteristica statică a arcului (fig. 3.6, a) în dependenţă de mărimea curentului electric pentru diferite condiţii are trei zone: căzătoare *1*, rigidă *2* şi crescătoare *3*. În prima zonă (până la 100 A) cu creşterea curentului tensiunea scade considerabil. Aceasta se întâmplă fiindcă la avansarea curentului se măreşte secţiunea transversală, şi ca consecinţă, şi conductibilitatea coloanei arcului. În zona a doua *2* (100...1000 A) la creşterea curentului tensiunea rămâne aproape constantă, deoarece secţiunea coloanei arcului şi suprafeţele petelor anodică şi catodică se măresc proporţional cu avansarea curentului. Zona se caracterizează prin densitate de curent constantă. În zona *3* avansarea curentului provoacă creşterea tensiunii datorită avansării densităţii curentului mai sus de o mărime stabilită, iar aceasta nu se însoţeşte de creşterea petei catodice din cauza secţiunii limitate a electrodului. De aceea, tensiunea arcului creşte. Arcul zonei *1* arde instabil, de atâta are o întrebuinţare limitată. Arcul în zona *2* arde stabil şi asigură procesul de sudare normal.

Caracteristicile statice ale arcului (fig. 3.6, b) pentru sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor cu conţinut scăzut de hidrogen sunt prezentate în formă de curbe *a* şi *b*, iar pentru sudarea automată sub flux cu viteze mari prin curbele *c* şi *d*.

Lungimea arcului se numeşte distanţa dintre capătul activ al electrodului şi suprafaţa băii de metal topit a piesei care se sudează. *Arc „scurt"* se numeşte arcul cu lungimea de 2...4 mm. Lungimea *arcului normal* constituie 4...6 mm. Arcul cu lungimea mai mare de 6 mm se numeşte *„lung"*. Regimul optimal de sudare se asigură cu arc scurt. Cu arc lung procesul decurge neuniform, arcul arde instabil, metalul, trecând prin

coloana de sudare mai mult se oxidează, se măreşte arderea metalului şi împrăştierea stropilor.

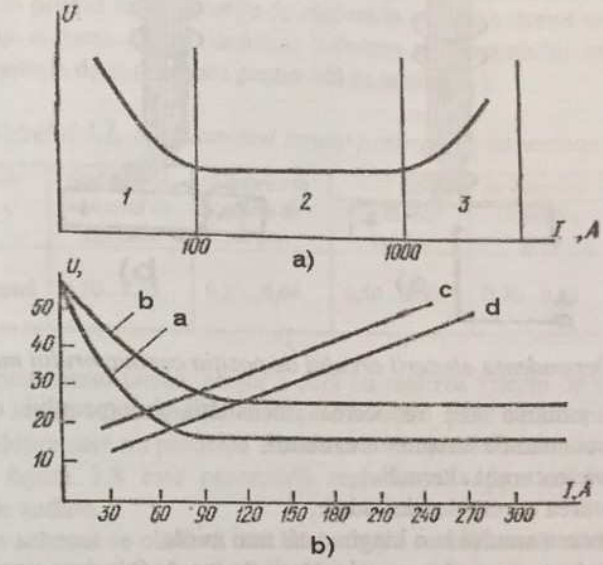


Fig. 3.6. *Caracteristici statice ale arcului electric: a, d – lungimea arcului 2 mm; b, c – lungimea arcului 4 mm*

Arcul electric de sudare se consideră asemenea unui conductor gazos flexibil, prin care trece curentul, deoarece arcul poate fi abătut de la poziţia sa normală. Abaterea arcului se realizează cu ajutorul câmpurilor magnetice create în jurul arcului şi componentelor sudate. Aceste câmpuri reacţionează cu particulele încărcate care se deplasează şi acţionează tot arcul de sudare. Acest efect se numeşte suflaj magnetic. Suflajul magnetic deseori îngreunează procesul de sudare.

Dacă în jurul arcului se creează un câmp magnetic simetric, atunci arcul de sudare nu se abate, fiindcă câmpul magnetic exercită acţionare simetrică la coloana arcului (fig. 3.7, a).

Uneori la coloana arcului acţionează un câmp magnetic asimetric care se creează de curentul care trece prin piesa care se sudează.

Coloana arcului în acest caz se va abate în direcţie opusă conductorului de curent (fig. 3.7, b).

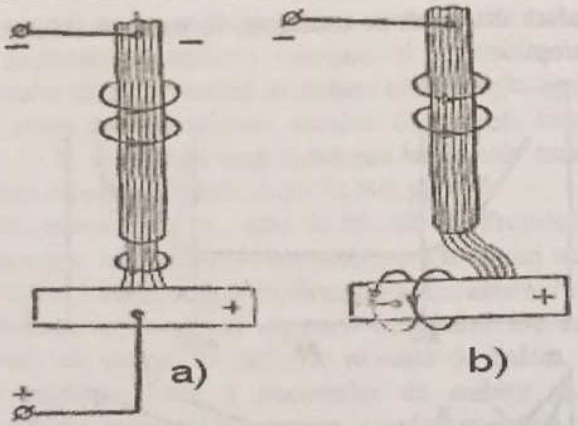


Fig. 3.7. Dependenţa abaterii arcului de poziţia conductorului magnetic

Pentru evitarea sau reducerea intensităţii fenomenului de suflaj magnetic se recomandă următoarele măsuri:

- sudarea în curent alternativ;
- micşorarea curentului de sudare;
- menţinerea arcului la o lungime cât mai mică;
- plasarea corespunzătoare a legăturii de masă, folosirea unei legături duble de masă;
- folosirea unei piese masive din oţel magnetic în apropierea arcului electric (piesa masivă atrage arcul);
- prinderea provizorie prin sudare;
- înclinarea corespunzătoare a electrodului.

3.5. Arcul electric ca sursă de căldură

Arcul electric poate fi considerat o sursă concentrată de căldură a cărei putere poate fi calculată cu relaţia:

$$Q = 0{,}24\eta U_0 I_s, \text{ cal/s}$$

unde Q – puterea calorică a arcului electric, cal/s;

$0{,}24$ – coeficientul de trecere din unităţile electrice în unităţi de căldură, cal/s;

η – randamentul termic al arcului electric

U_0 – tensiunea arcului, V;

I_s – puterea curentului de sudare, A.

Randamentul termic al arcului η ţine cont de faptul că nu toată căldura dezvoltată în arc Q se consumă la sudare. O parte din căldură se pierde prin schimbul de căldură (convecţie, radiaţii) cu mediul înconjurător, prin împroşcare cu metal lichid etc.

Randamentul termic al arcului depinde de procedeul de sudare folosit,

viteza de sudare etc. Randamentul termic la sudare cu arc acoperit cu flux este mai mare decât la sudarea manuală cu electrozi înveliţi, având în vedere faptul că în primul caz pierderile de căldură în mediul exterior sunt mult mai mici ca la sudarea cu arc deschis. Valoarea randamentului termic pentru diferite metode de sudare este prezentată în tabelul 3.1.

***Tabelul 3.1.** Randamentul termic pentru diferite metode de sudare*

Metoda de sudare η	*Sudarea cu electrod de cărbune*	*Sudarea în mediu de argon*	*Sudarea cu electrozi metalici*		
			cu înveliş subţire	*cu înveliş gros*	*sub flux*
Randamentul	0,50...0,65	0,50...0,60	0,50...0,60	0,70...0,85	0,80...0,92

Randamentul termic creşte o dată cu mărirea vitezei de sudare pentru că astfel scade cantitatea de căldură transmisă prin conducţie pieselor de sudat (căldura care nu participă efectiv la formarea băii metalice).

În figura 3.8 este prezentată repartizarea aproximativă a căldurii arcului de sudare.

Din schemă se observă căci mai efectiv se utilizează căldura arcului la sudarea automată sub strat de flux. La mărirea lungimii arcului randamentul termic efectiv scade şi creşte cu adâncirea arcului în baie. La sudarea cu electrozi metalici acest coeficient (η) puţin depinde de tipul, polaritatea şi mărimea curentului de sudare.

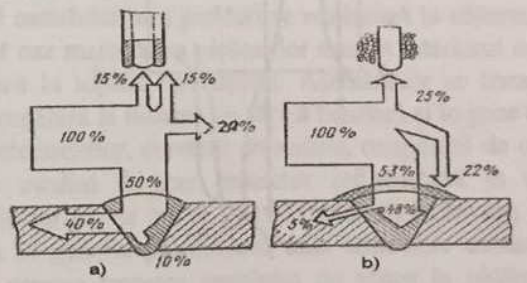


Fig. 3.8. Repartizarea căldurii în arcul electric la un regim mediu pentru metoda dată de sudare: a – sudare manuală cu electrod învelit; b –sudarea automată sub strat de flux

3.6. Particularităţile arcului electric cu curent alternativ

Tensiunea curentului necesară pentru amorsarea arcului electric depinde de tipul curentului (continuu sau alternativ), lungimea coloanei arcului, materialelor electrodului şi alţi factori. Valoarea tensiunii curentului la care se asigură apariţia arcului la mărimea coloanei cu 2...4 mm, este în

limitele de 40...70 V.

În arcul de sudare alimentat cu curent alternativ, petele catodică şi anodică se schimbă cu locurile cu frecvenţa egală cu frecvenţa curentului de alimentare. Cu trecerea timpului tensiunea şi curentul periodic se schimbă de la zero până la valoarea maximă. Schimbarea tensiunii şi curentului arcului alimentat cu curent alternativ într-o perioadă este prezentată în fig. 3.9.

Datorită schimbării tensiunii şi curentului, temperatura arcului şi nivelul de ionizare a mediului gazos de asemenea se schimbă. Aceasta conduce la arderea instabilă a arcului. La valorile zero a tensiunii şi intensităţii, arcul se stinge. Ca să se menţină arderea la aşa arc, este necesară o tensiune majorată. Afară de aceasta, pentru arderea stabilă a arcului alimentat cu curent alternativ se utilizează electrozi înveliţi în fluxuri, care conţin componente ionizatoare (calciu, natriu, caliu ş.a.), şi care măresc numărul de particule încărcate în volumul arcului şi contribuie la arderea stabilă a arcului. O importanţă majoră are decalajul de faze dintre tensiune şi curent: este necesar ca la trecerea curentului prin valoarea zero, mărimea tensiunii să fie suficientă pentru amorsarea arcului.

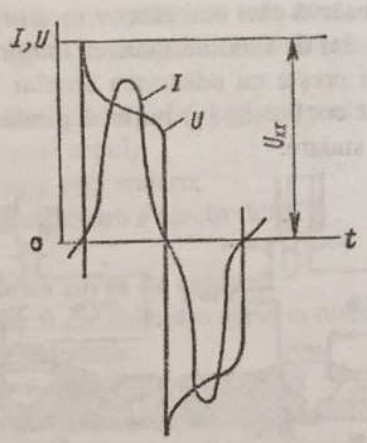


Fig. 3.9. Schimbarea tensiunii I şi curentului U arcului alimentat cu curent alternativ: U_{xx} – tensiunea amorsării arcului

3.7. Transferul materialului electrodului pe piesa care se sudează

La sudarea cu electrod învelit capătul lui, sub acţiunea temperaturii înalte, se topeşte, formând picături de metal şi asigurând transferul lor pe piesa care se sudează. În dependenţă de tensiunea şi viteza de formare a picăturilor, se poate deosebi transferul prin picurare şi prin jet (fig. 3.10).

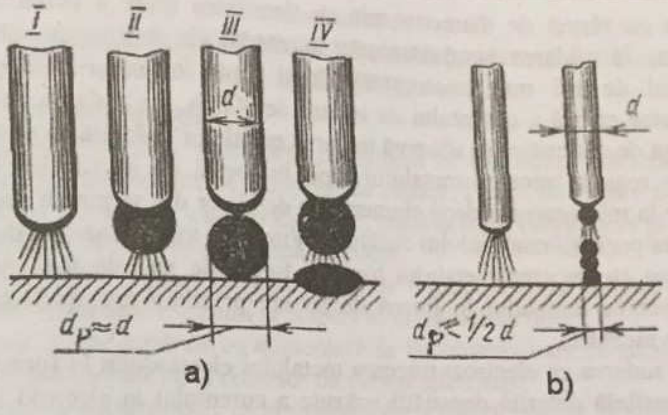


Fig. 3.10. Scheme ale proceselor de transfer al metalului electrodului pe componentele sudate cu arc scurt: a – în formă de picături; b – în formă de jet; I...IV – etapele consecutive ale procesului; d_p – diametrul picăturii; d – diametrul electrodului

La sudarea manuală 95% din metalul electrodului se transferă în formă de picături; 5% din material în formă de vapori şi stropi se împrăştie în mediul ambiant. Diametrul picăturilor şi viteza lor de formare depind de felul sudării, diametrul electrodului, puterea curentului, lungimea arcului, etc.

Transferul metalului prin picături se realizează la sudarea cu electrozi înveliţi. În acest caz majoritatea picăturilor sunt în interiorul cojii de zgură, care se formează la topirea învelişului. Asemănător se transferă metalul electrodului în cusătură la sudarea cu sârmă tubulară şi în gaze de protecţie.

Învelişul electrozilor, curentul de sudare, conţinutul de carbon, fluxul de sudare sau mediul de gaz protector influenţează în mare măsură dimensiunile picăturilor de metal. Astfel, prezenţa în înveliş sau în flux a unor oxizi, sau în general promovarea unei atmosfere oxidante în spaţiul arcului are ca urmare trecerea metalului de adaos în picături fine şi, în consecinţă, formarea uşoară a cusăturii sudate. Acţiunea atmosferei oxidante de finisare a picăturilor se explică prin faptul că oxizii măresc tensiunea superficială a metalului lichid, favorizând formarea unor picături fine.

Trecerea picăturilor de metal de la electrod la piesă se datorează atât forţelor magnetice care acţionează asupra picăturii, cât şi presiunii gazelor care se dezvoltă sub forma unei bule la baza picăturii în curs de deformare.

La trecerea picăturilor de metal de la electrod la piesă prin jet (fig. 3.10,b) se creează picături mărunte, care urmează una după alta în formă de lanţ neîntrerupt (jet). Transferul prin jet al metalului electrodului apare la

sudarea cu sârmă de diametru mic cu densitatea mare a curentului. De exemplu, la sudarea semiautomată, în mediu de argon, cu sârmă cu diametrul de 1,6 mm trecerea metalului topit în jet se realizează la intensitatea critică a curentului de sudare de 300 A. La sudare cu tensiune mai joasă de cea critică se observă trecerea metalului în formă de picături.

De regulă, trecerea metalului topit în formă de jet (de la electrod) conduce la micşorarea arderii elementelor de aliere din sârma de sudat şi la avansarea purităţii materialului cusăturii. Viteza de topire a sârmei de sudare la sudarea cu trecerea metalului topit în formă de jet este mai mare. De aceea trecerea metalului în formă de jet are priorităţi faţă de trecerea în formă de picături.

La sudarea cu electrozi trecerea metalului electrodului în formă de jet este imposibilă datorită densităţii scăzute a curentului la electrod (10...20 A/mm^2).

Capitolul 4

UTILAJELE POSTULUI DE SUDARE MANUALĂ CU ARC ELECTRIC

4.1. Postul de sudare

Postul de sudare este locul de muncă al sudorului înzestrat cu tot necesarul pentru executarea lucrărilor de sudare. Postul de sudare completat cu sursă de alimentare, cabluri electrice, portelectrod, dispozitive şi scule de montare scut de protecţie şi mască de sudor.

Posturile de sudare în dependenţă de felul curentului utilizat şi modul sursei de alimentare a arcului se împart în următoarele tipuri:

- cu curent continuu cu alimentare de la convertizoare de sudură mono sau multiposturi sau de la redresor de curent alternativ;
- cu curent alternativ cu alimentare de la transformator de sudare.

Posturile staţionare prezintă nişte cabine fără acoperiş destinate sudării ansamblurilor de dimensiuni mici. În cabină, ca regulă, este instalat un transformator de sudare sau un redresor de sudare. La alimentarea posturilor de sudare de la convertizoare de sudare multiposturi de curent continuu şi redresori, curentul de sudare se distribuie prin cabine cu cabluri sau prin şine. În cabină se instalează un întrerupător cu pârghie sau demaror magnetic pentru deconectarea sursei de curent electric. Pe masa de lucru se instalează dispozitive speciale pentru asamblarea şi fixarea componentelor care urmează să fie sudate, şi de asemenea, ambalaj pentru electrozi şi scule. Pe perete se atârnă un dulap pentru calcinarea (înfierbântarea) electrozilor. Scheme ale posturilor de sudare manuală şi semiautomată sunt prezentate în fig. 4.1.

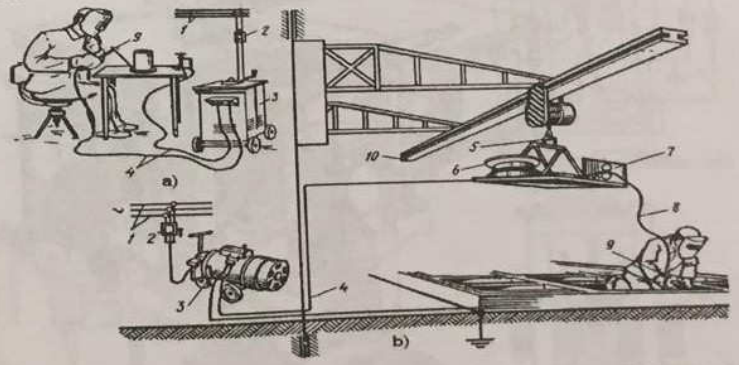


Fig. 4.1. *Posturi de sudare: a – sudare manuală de la transformator sau de la redresor de sudare; b – sudare cu semiautomat cu tub flexibil: 1 – reţea de alimentare cu curent electric; 2 – întrerupător cu pârghie (hablu); 3 – sursă de alimentare a arcului; 4 – cabluri de curent electric; 5 – dispozitiv de agăţare; 6 – bobină cu sârmă – electrod; 7 – mecanism de alimentare cu sârmă; 8 – tub pentru direcţionarea sârmei; 9 – portelectrod; 10 – consolă*

4.2. Cabina sudorului

La sudarea ansamblurilor cu dimensiuni mici locul de muncă al sudorului se echipează în cabine de sudare (fig. 4.2) cu dimensiunile 2000 x 2000 mm sau 2000 x 3000 mm. Carcasa cabinei se confecţionează din ţevi şi corniere de oţel. Pereţii cabinei trebuie să aibă înălţimea de 1800...2000 mm. Pentru protejarea ventilaţiei pereţii cabinei nu ajung la podea cu 200...250 mm. Ca material pentru pereţi se utilizează table subţiri de metal, plite de azbociment şi alte materiale ignifuge. Pereţii se vopsesc cu vopsea rezistentă la foc (refractară) în culori deschise cu ceruză albă de zinc sau titan, galben de crom sau cu alte vopsele, care absorb bine razele ultraviolete ale arcului electric. Vopsirea pereţilor cabinei în culori întunecate nu se recomandă, fiindcă ele conduc la înrăutăţirea iluminării cabinei la stingerea flăcării de sudare. Golul pentru uşă a cabinei se închide cu o perdea din material rezistent la foc. Perdeaua se atârnă pe o ţeavă sau sârmă cu inele. Podelele cabinei se acoperă cu materiale refractare: ciment, beton, piatră, cărămidă. Cabina trebuie să fie bine iluminată cu lumină naturală sau artificială şi să aibă ventilaţie. În acest scop afară de ventilaţie comună se instalează şi ventilator individual care absoarbe gazele nocive, praful direct din zonele de apariţie ale lor.

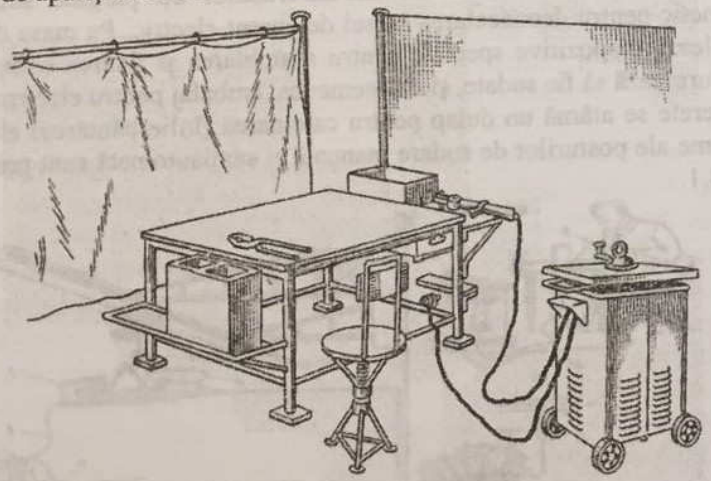


Fig. 4.2. Schema cabinei sudorului electric

Montarea şi sudarea ansamblurilor în cabină se realizează pe masa de sudat. Înălţimea mesei pentru lucrul pe şezute este de 500...600 mm şi 900 mm pentru lucrul în picioare. Faţa mesei cu suprafaţa de 1 m^2 se confecţionează dintr-o placă de fontă cu grosimea de 25 mm (fonta nu se exfoliază la încălzire) sau din oţel cu grosimea 15...20 mm. În partea

inferioară a feţei mesei sau de piciorul mesei se sudează un bolţ de oţel de care se fixează conductorul de curent de la sursa de sudare. Bolţul serveşte de asemenea, pentru legarea mesei la pământ. În partea stângă a mesei sunt fixate două locaşuri pentru electrozi de diferite tipuri. În sertarul mobil din dreapta se păstrează instrumente (ciocan, daltă, perii de oţel etc.) şi de asemenea, documentaţia tehnică.

În cabină se instalează un scaun metalic cu şurub pentru reglarea înălţimii. Partea utilă a scaunului se confecţionează din material neconductibil de electricitate (plastic, lemn, etc.). Sub picioarele sudorului se instalează un covoraş de cauciuc.

4.3. Construcţia transformatorului de sudare

Transformatorul de sudare transformă curentul alternativ de o tensiune stabilită în curent alternativ de o altă tensiune cu aceeaşi frecvenţă, care serveşte pentru alimentarea arcului electric. Transformatorul este compus dintr-un miez de oţel (conductor magnetic) şi două înfăşurări izolate. Înfăşurarea conectată la reţea se numeşte primară, iar înfăşurarea conectată la portelectrod şi componentele care urmează să fie sudate – secundară. Pentru aprinderea sigură a arcului tensiunea secundară a transformatorului de sudat trebuie să fie nu mai mică de 60...65 V; tensiunea arcului la sudarea manuală nu depăşeşte 20...30 V.

Una dintre cele mai răspândite surse de alimentare cu curent alternativ este transformatorul de sudare TSK-500 (fig. 4.3, a).

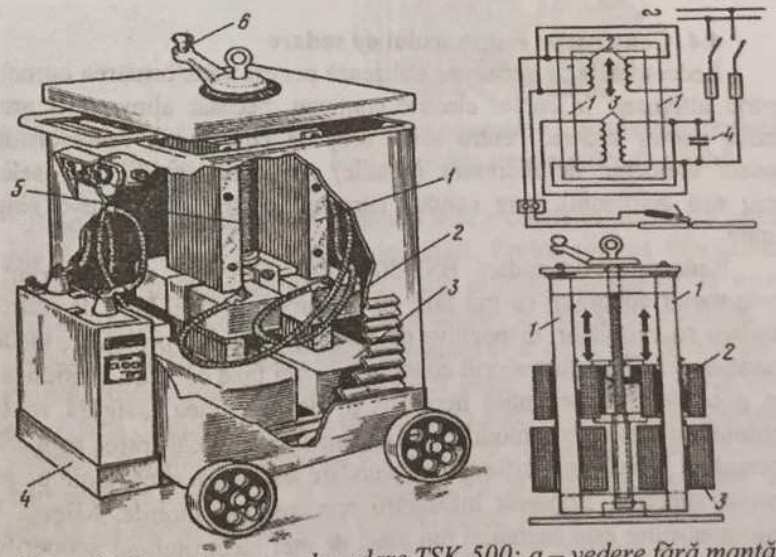


Fig. 4.3. Transformator de sudare TSK-500: a – vedere fără mantă; b – schema de reglare a curentului de sudare; c – schema electrică

În partea inferioară a miezului *1* este instalată înfăşurarea primară *3*, care constă din două bobine instalate pe două bare. Bobinele înfăşurării primare sunt fixe. Înfăşurarea secundară *2* de asemenea este compusă din două bobine, instalate la o distanţă considerabilă de înfăşurarea primară. Înfăşurările (primară şi secundară) sunt unite paralel. Înfăşurarea secundară este mobilă şi se poate deplasa pe miez cu ajutorul şurubului de cursă *5*, cu care ea este unită, şi cu mânerul *6*, care este instalat pe capacul mantalei transformatorului.

Reglarea curentului de sudare se realizează prin schimbarea distanţei dintre înfăşurările primară şi secundară. La rotirea mânerului 6 în direcţia acelor ceasornicului, înfăşurarea secundară se apropie de înfăşurarea primară, fluxul magnetic de dispersare şi rezistenţa inductivă se micşorează, iar curentul de sudare creşte. La rotirea mânerului în direcţie opusă acelor ceasornicului, bobina secundară se îndepărtează de bobina primară, fluxul magnetic de dispersare creşte (rezistenţa inductivă se măreşte) şi curentul de sudare scade. Limitele de reglare a curentului de sudare 165 – 650 A. Îmbinarea (unirea) consecutivă a înfăşurărilor primară şi secundară permite obţinerea curenţilor de sudare scăzuţi în limitele 40...160 A.

Transformatorul TSK are în lanţul primar o baterie de acumulare 4. Condensatorul se conectează în paralel cu înfăşurătoarea primară şi serveşte pentru avansarea coeficientul de putere (cos φ).

Asemănătoare cu transformatorul TSC-500 sunt transformatoarele TS-500, TS-300, TSK-30, TD-300, TD-500.

4.4. Construcţia redresorului de sudare

Redresoarele de sudare se utilizează pentru transformarea curentului electric alternativ în curent electric continuu, necesar alimentării arcului electric pentru sudare. Pentru acest scop în construcţia redresorilor se folosesc elemente de redresare (ventile) semiconductoare (din seleniu, siliciu sau germaniu), care conduc curentul electric doar într-o singură direcţie.

Redresorul de sudare BSS-300 (fig. 4.4) este compus din: un transformator coborâtor cu trei faze cu înfăşurări mobile, bloc de redresori de sudare cu ventilator, dispozitive de pornire, reglare şi protejare, instalate în mantaua *11*. Transformatorul coborâtor cu trei faze coboară tensiunea din reţea până la mărimea utilă necesară şi, de asemenea, asigură reglarea curentului de sudare prin modificarea distanţei dintre înfăşurarea primară *10* şi secundară *7*. Bobinele înfăşurării secundare staţionare sunt fixate pe jugul magnetic superior. Bobinele înfăşurării primare sunt mobile. Miezul **8** al transformatorului este asamblat din plăci de oţel electrotehnic acoperite cu lac. Prin interiorul miezului trece şurubul de cursă *9* cu o crapodină fixată în

partea inferioară a lui. În placa superioară de fixare a înfăşurării primare este presată piuliţa de cursă. La rotirea manetei 4 a şurubului de cursă se deplasează axial, şi prin urmare se deplasează şi bobinele înfăşurării primare.

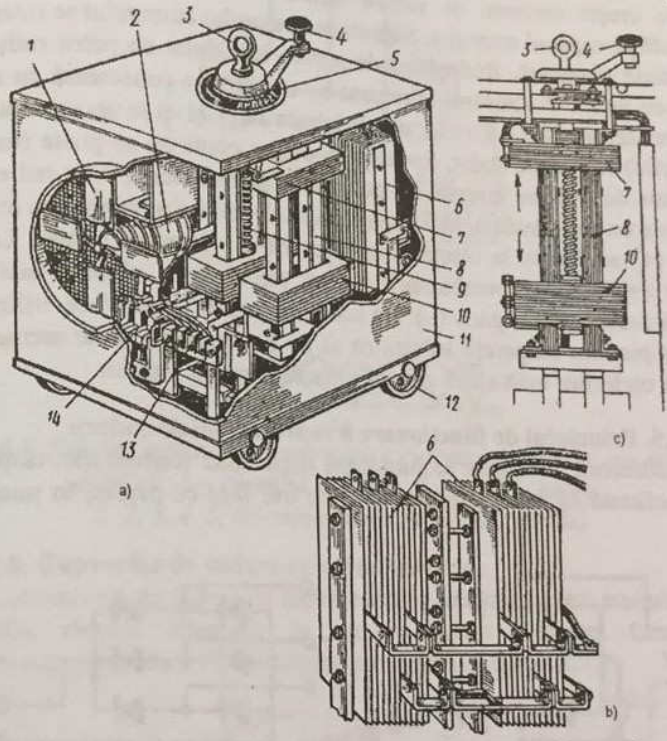


Fig. 4.4. *Redresor de sudare: a – aspect general; b – schema de reglare a curentului de sudare; c – bloc de redresare din plăci de seleniu*

Blocurile de redresare de seleniu 6 sunt montate în punte din şaibe de seleniu (diode) după schema cu trei faze. Pentru răcirea blocurilor de redresare se foloseşte ventilatorul *1*, care primeşte rotaţie de la motorul electric asincron *2*. Aerul de răcire se absoarbe în interiorul mantalei, trece prin blocul de seleniu, răceşte transformatorul şi se aruncă pe de altă parte în atmosferă. Redresorul de sudare are două game de reglare a curentului de sudare. Gama de curenţi mici se realizează la legarea înfăşurărilor primare şi secundare a transformatorului cu trei faze prin conexiune în stea. Gama de curenţi mari se realizează la conexiunea lor în triunghi. Reglarea lină a curentului de sudare în interiorul fiecărei game de curenţi se realizează prin modificarea distanţei dintre bobinele înfăşurărilor: primară şi secundară cu rotirea manetei şurubului de cursă, instalată în partea superioară a

redresorului. La rotirea manetei în direcţia acelor de ceasornic se realizează apropierea bobinelor ambelor înfăşurări. Inductivitatea de împrăştiere (dispersare) se micşorează, legătura magnetică între ele se măreşte, şi ca urmare creşte curentul de sudare. Scala *5* a curentului de sudare este instalată pe capacul mantalei. Săgeata indicatorului curentului se roteşte prin transmisie planetară. Redresorul de sudare este dotat cu patru rotiţe *12* şi şurub cu inel *3*. Redresorul la reţeaua cu trei faze se conectează cu ajutorul blocului de intrare *13*. La clemele de intrare *14* (+ şi –) se unesc conductorii (cablurile) reţelei de sudat. Sudarea cu curent continuu se poate realiza cu polaritate directă sau inversă. La polaritatea directă clema (+) a redresorului se uneşte cu piesa sudată, iar clema (–) - la electrod. La polaritatea inversă – clema (+) se uneşte la electrod, iar clema (–) – la piesa sudată. La polul pozitiv (+) datorită bombardării lui cu electroni se elimină mai multă căldură decât la cel negativ (–). De aceea, polaritatea inversă se utilizează la sudarea pieselor cu pereţii subţiri, ca să nu fie străpunşi, şi de asemenea, la sudarea oţelurilor înalt aliate pentru evitarea supraîncălzirilor.

4.5. Principiul de funcţionare a redresorului de sudare

Redresorii de sudare se montează după două scheme mai răspândite: 1) monofazată cu montaj în punte; 2) cu trei faze cu montaj în punte (fig. 4.5).

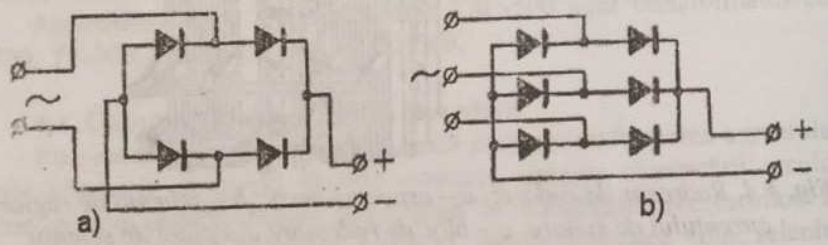


Fig. 4.5. *Scheme principiale de funcţionare ale redresorilor: a – monofazată cu montaj în punte; b – cu toc trifazat şi montaj în punte*

Mai răspândită este schema trifazată cu montaj în punte de redresare, care asigură arderea stabilă a arcului electric cu un număr mai mic de redresori (ventile) la aceleaşi mărimi stabilite a tensiunii şi curentului redresat. Această schemă permite încărcarea uniformă a celor trei faze a reţelei electrice şi utilizarea mai completă a transportorului redresorului de sudare. La funcţionarea redresorului cu toc trifazat în fiecare moment de timp curentul trece numai prin două elemente unite consecutiv cu sarcina. În aşa fel, în timpul unei perioade de timp se realizează şase pulsaţii ale curentului. Priorităţile schemei trifazate de redresare constă în pulsaţia intensivă a tensiunii (fig. 4.6) şi încărcarea mai uniformă a reţelei trifazate.

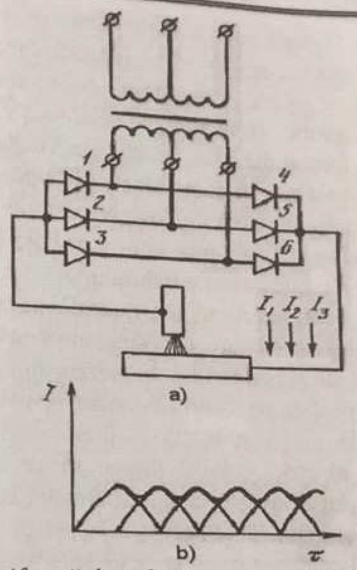


Fig. 4.6. *Schema trifazată de redresare a curentului electric: a – schema cuplării; b – curentul redresat al reţelei de ieşire: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – semiconductor (diode, ventile)*

4.6. Convertor de sudare cu motor electric

Convertorul de sudare cu motor electric serveşte pentru transformarea curentului electric alternativ în curent electric continuu. Construcţia convertorului de sudare PSG-500 este prezentată în figura 4.7.

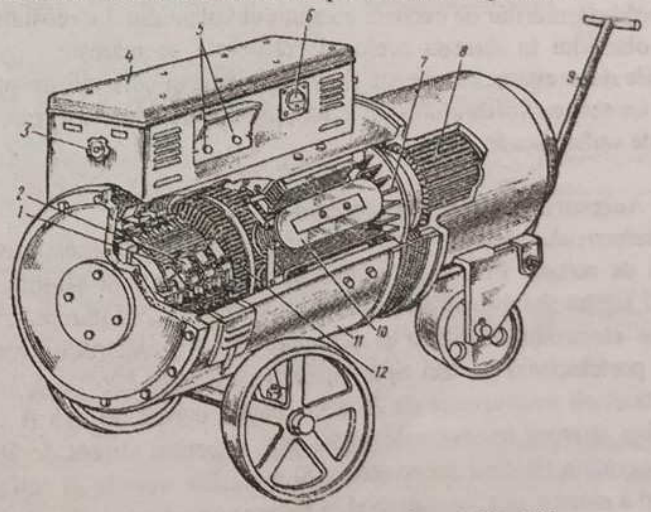


Fig. 4.7. *Convertor de sudare PSG-500*

Convertorul de sudură este compus dintr-un generator de curent continuu şi un motor electric sincron cu trei faze *8*, care sunt instalaţi pe un arbore într-o carcasă comună. Generatorul de sudare este compus din carcasa *11* cu polii magnetici *10* fixaţi în ea şi indusul *12* antrenat în rotaţie. Corpul indusului este format din plăci de oţel electrotehnic acoperite cu lac. În locaşurile longitudinale ale lui sunt aşezate înfăşurările indusului. Lângă indus este instalat colectorul, care este dotat cu plăci de cupru *1* izolate una de alta. La aceste plăci sunt fixate prin lipire cu aliaje începutul şi sfârşitul fiecărei grupe de spire ale înfăşurărilor indusului.

Câmpul magnetic în interiorul generatorului se creează de către polii magnetici ai înfăşurărilor de excitare, care se alimentează cu curent continuu de la periile de contact ale generatorului. În mecanismul de distribuţie *4* este instalat întrerupătorul pachet, reostatul de reglare *3*, voltmetru *6,* plăcile de fixare ale clemelor de tensiune înaltă şi joasă *5* şi alte aparate. La conectarea motorului electric indusul începe să se rotească în câmpul magnetic şi în spirele lui se iveşte curent alternativ, care prin colector se transformă în curent continuu. Pe colector se apasă periile *2* din grafit, cu ajutorul cărora curentul continuu se preia de pe colector şi se transmite către clemele *2* (+ şi -). La aceste cleme se leagă cablurile de sudare, care conduc curentul electric către electrod şi componentele de sudat. Pentru răcirea convertorului în timpul funcţionării pe arborele central este instalat ventilatorul *7*. Partea mobilă a convertorului constă dintr-o roată de dinainte pivotantă cu tirant *9* şi două roţi din urmă aşezate pe o axă. Aceasta permite deplasarea convertorului la distanţe limitate.

Reglarea curentului de sudare se execută prin modificarea curentului în circuitul înfăşurărilor de excitare cu ajutorul volantului *3* a reostatului. La rotirea volantului în direcţia acelor de ceasornic se măreşte curentul în înfăşurările de excitare, se măreşte fluxul magnetic şi curentul de sudare se măreşte. La rotirea volantului în direcţia opusă acelor de ceasornic, invers, curentul de sudare scade.

4.7. Accesorii şi scule ale sudorului

Portelectrodul serveşte pentru fixarea electrodului şi transmiterii lui a curentului de sudare. El trebuie să ţină bine electrodul, să asigure fixarea comodă şi sigură a cablului de sudat şi, de asemenea, înlăturarea rapidă a rămăşiţelor electrodului utilizat şi schimbul rapid a electrodului nou. Se utilizează portelectrozi de trei tipuri: pentru curent de 125 A şi cablu cu suprafaţa tăieturii transversale de 25 mm^2, pentru curent de 315 A şi cablu cu suprafaţa tăieturii transversale de 50 mm^2 şi pentru curent de 500 A şi cablu cu suprafaţa tăieturii transversale 70 mm^2. Ele trebuie să reţină 8000 de strângeri a electrozilor, consumând la fiecare schimbare a electrodului nu mai mult de 4s. Portelectrozii pentru curenţi de 500 A trebuie să fie dotaţi cu

o placă pentru protecţia mânii sudorului de acţiunea arcului electric.

Conform GOST 14651 – 69 se produc portelectrozi de trei tipuri în dependenţă de puterea curentului de sudare: I tip – pentru curent 125 A; II tip – 125 ...315 A; III tip – 325...500A.

Portelectrodul trebuie să suporte fără reparaţie 8000 de strângeri ai electrodului. Timpul de fixare a electrodului nu se permite să depăşească 4s.

Portelectrodul trebuie să permită apucarea electrodului minimal în două poziţii: perpendicular pe axă şi sub un unghi nu mai mic de 115^0 către axa lui.

Elementele sub tensiune trebuie să fie bine izolate. Rezistenţa izolaţiei trebuie să fie nu mai mică de 5 MΩ. Izolaţia mânerului trebuie să reţină fără străpungere nu mai puţin de un minut tensiunea de încercare 1500 V la frecvenţa de 50 Hz. Ridicarea temperaturii suprafeţei exterioare a mânerului la regimul de lucru nominal este admisă nu mai sus de 55° C. Tăietura transversală a mânerului pe lungimea apucată de palma (mâna) sudorului trebuie să se înscrie într-un cerc nu mai mare de 40 mm. Portelectrodul este socotit pentru 8000 de strângeri ale electrozilor.

Pentru sudarea manuală cu arc electric se pot utiliza câteva tipuri de portelectrozi (fig. 4.8): furcă, arc, cleşte, speciali, pentru doi electrozi, cu inel de blocare.

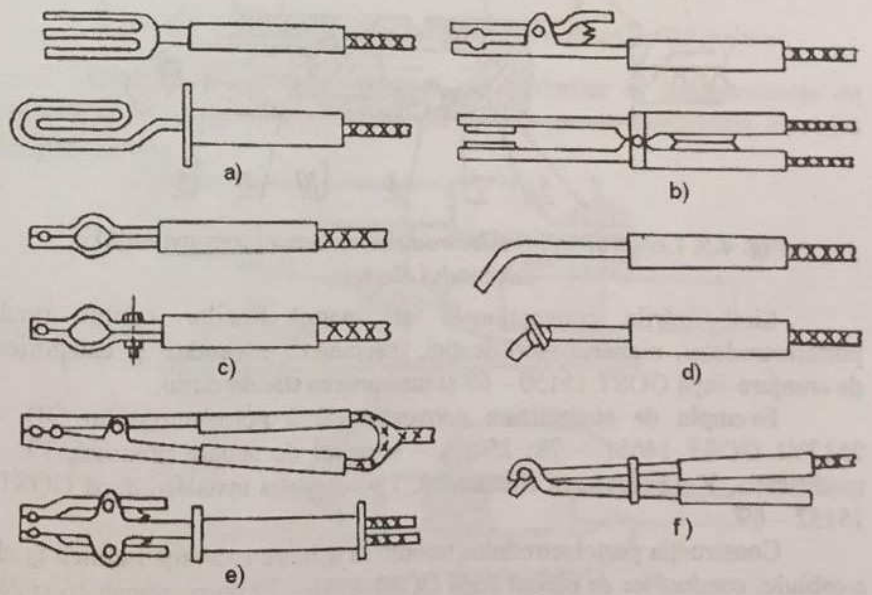


Fig. 4.8. *Scheme constructive ale portelectrozilor pentru sudarea manuală cu arc electric: a – furcă; b – arc; c – cleşte; d –special; e – pentru doi electrozi; f – cu inel de blocare*

În unele construcţii a portelectrozilor sunt prevăzute mecanisme pentru decontarea curentului electric la momentul terminării lucrului. Deconectarea curentului se realizează manual sau automat cu scopul protejării sudorului de electrocutare.

Portelectrodul cu deconectarea manuală a curentului (fig. 4.9) este compus din fălcile *1* pentru fixarea electrodului, manetei cilindrice *2* şi ţevii *3* confecţionate din material izolator. În manetă este instalat contactul electric *4*, în canalul longitudinal *5* al căruia este introdus capătul tijei **6**. Tija se înşurubează în ţeavă şi se fixează cu şurubul *7*. În ţeavă de asemenea se instalează cablul *8* conducător de curent electric.

Pe capătul cablului este îmbrăcat contactul conic *10*, care se fixează în ţeavă cu şurubul *11*. La înşurubarea barei *9* în ţeavă până la atingerea ei cu contactul *10* reţeaua electrică se închide (uneşte). La rotirea manetei cilindrice bara *6* se deşurubează din ţeava *3* realizând un joc între ea (bară) şi contactul *10*, şi ca rezultat se întrerupe transmiterea curentului electric către portelectrod.

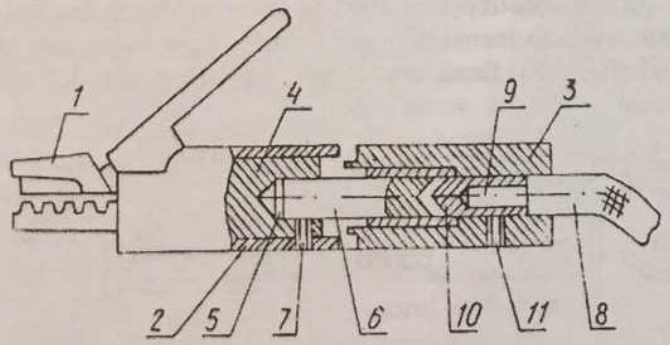


***Fig. 4.9.** Construcţia portelectrodului cu decontarea manuală a curentului electric*

Simbolizările convenţionale ale portelectrozilor conţin tipul portelectrodului, numărul modificaţiei, însemnarea executării şi categoriei de aranjare după GOST 15150 – 69 şi însemnarea standardului.

Exemplu de simbolizare convenţională a portelectrodului ЭD - 2517У1 GOST 14651 – 78: 250 A – curentul de sudare nominal, 17 – modificaţia, У – executarea climaterică, 1 – categoria instalării după GOST 15152 – 69.

Construcţia portelectrodului trebuie să asigure cuplarea trainică la el a cablului conducător de curent după GOST 6731 – 77 cu secţiunea 16 şi 25 mm^2 – pentru portelectrod de tipul ЭD-20; 35 şi 50 mm^2 – pentru portelectrod de tipul ЭD-25 şi ЭD-31; 50 şi 70 mm^2 – pentru portelectrod de tipul ЭD-40; 70 şi 95 mm^2 – pentru portelectrod ЭD-50. Portelectrozii trebuie să corespundă cerinţelor securităţii în conformitate cu GOST

12.2.007.8-75.

Lungimea conductorilor de la aparatul de sudat până la locul de muncă trebuie să fie nu mai mare de 40 m, fiindcă la o lungime mai mare tensiunea în ele va scădea considerabil, iar aceasta ar conduce la micşorarea tensiunii arcului.

Pentru unirea cablurilor electrice între ele se utilizează cuplaje speciale (fig. 4.10).

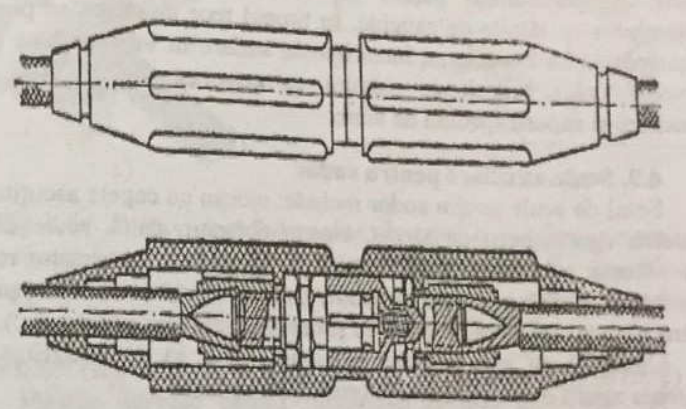


***Fig. 4.10.** Cuplaj (racord) pentru unirea cablurilor de sudare*

Clemele (cleşte) de conectare ale cablurilor la componentele de sudat (fig. 4.11) se confecţionează din metale cu conductibilitate electrică (cupru, bronz).

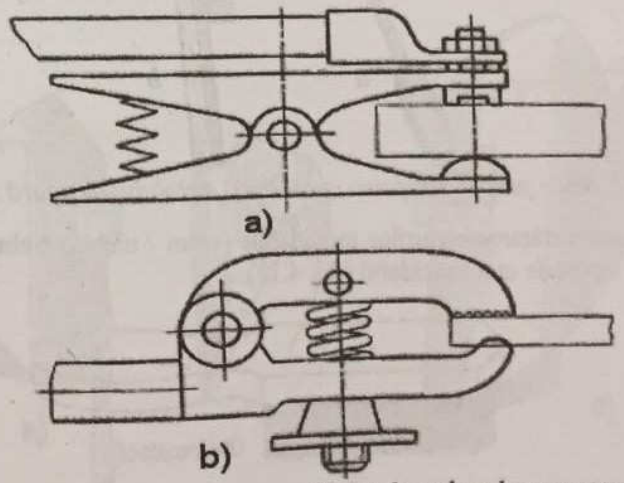


***Fig. 4.11.** Cleme de conectare a cablului de sudare la componentele de sudat: a – arcuit; b – cu şurub*

4.8. Îmbrăcăminte pentru sudori

Îmbrăcămintea sudorilor (scurtă, pantaloni, combinezon, mănuşi) se confecţionează din material dens, ţesături cu asbest, ş.a. Pantalonii se poartă pe deasupra încălţămintei, iar scurta se poartă deasupra pantalonilor. Buzunarele scurtei trebuie să fie închise cu clape, ca să se evite pătrunderea în ele a scânteilor sau a metalului topit. Scurta trebuie să fie încheiată pe toţi nasturii. Acoperământul pentru cap trebuie să fie fără cozoroc, iar încălţămintea cu tălpile de cauciuc. În timpul rece al anului se permite de încălţat pâsle. La executarea lucrărilor de sudare în vase închise (cazane, rezervoare, ş.a.) sudorii se asigură cu covoraşe de cauciuc, galoşi, genunchere şi suporţi speciali de lemn.

4.9. Scule auxiliare pentru sudor

Setul de scule pentru sudor include: ciocan cu capete ascuţite pentru dezbaterea zgurii, perii de sârmă, ciocan obişnuit, daltă, scule de fixare (cleme, cleşte, cabluri, şabloane pentru verificarea dimensiunilor rosturilor şi cusăturilor, poansoane de oţel pentru marcarea cusăturii sudate, polizoare de mână pentru curăţarea pieselor de sudat şi cusăturilor sudate, ş.a.).

Ciocanul cu capetele ascuţite (fig. 4.12, a) se utilizează pentru dezbaterea zgurii de pe cordoanele (cusăturile) sudate.

Peria de sârmă (fig. 4.12, b) se utilizează pentru curăţarea metalului de murdării.

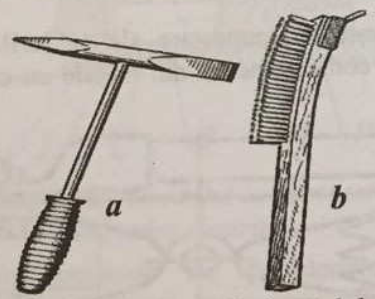


Fig. 4.12. Scule pentru curăţarea cusăturii şi metalului de zgură şi murdări

Pentru curăţarea oţelurilor inoxidabile (crom - nichel) trebuie folosite perii din sârmă de oţel inoxidabil (fig. 4.13).

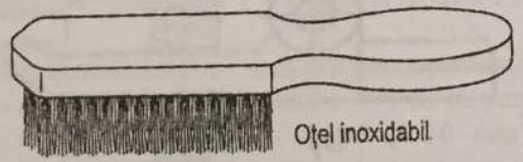


Fig. 4.13. Perie de sârmă din oţel inoxidabil

Pentru curăţarea cusăturilor sudate, de asemenea, se utilizează polizoare de mână (fig. 4.14).

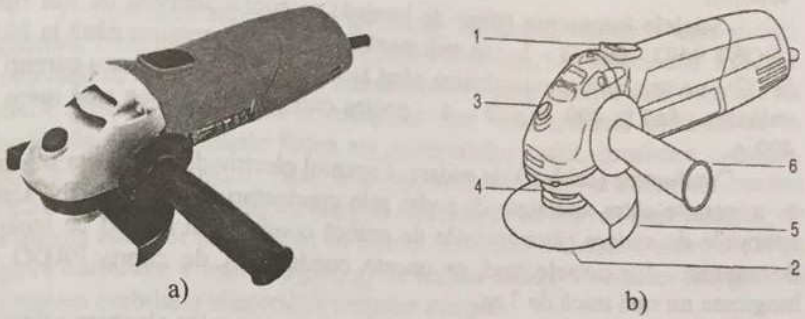


Fig. 4.14. Polizor de mână cu disc abraziv: a – vedere generală; b – schema constructivă: 1 – comutator pornit / oprit; 2 – disc abraziv; 3 – buton de blocare pentru arborele motorului; 4 – arbore port-piatră; 5 – apărătoare; 6 – mâner suplimentar

Scuturi (fig. 4.15, a), *măşti* (fig. 4.15, b) sau *căşti* (*fig. 4.15, c*) *pentru sudor*. Măştile servesc pentru protejarea ochilor sudorului de acţiune radiaţiei arcului electric şi stropilor de metal. În ele este străpunsă o gaură de vizionare în care se fixează o sticlă specială – filtru de lumină, care reţine razele infraroşii şi ultraviolete şi scade luminozitatea razelor de lumină ale arcului. Din exterior filtrul de lumină este protejat de stropi de metal cu o sticlă străvezie simplă.

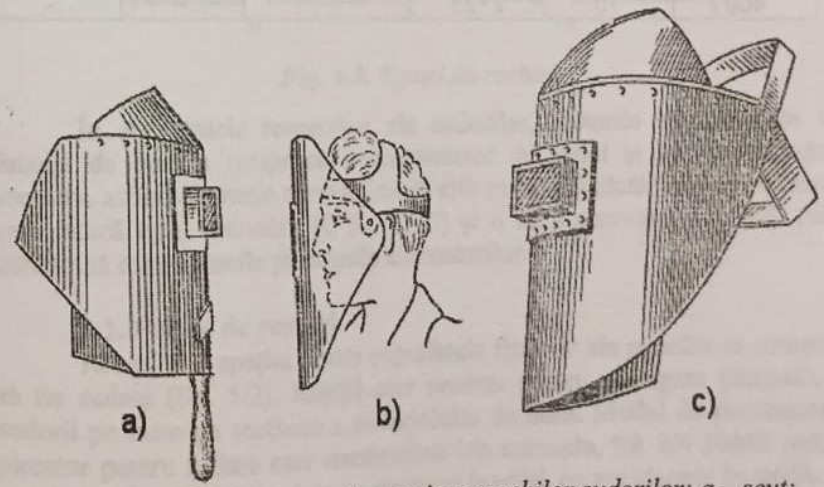


Fig. 4.15. Mijloace de protejare a ochilor sudorilor: a – scut; b – mască; c – cască

Masa scutului sau măştii nu trebuie să depăşească 0,6 kg. Procesul de sudare se urmăreşte prin sticle speciale instalate în carcasa măştii sau scutului.

Sticlele întunecate (filtre de lumină) se confecţionează de trei tipuri (GOST 9497 - 60): Э – 1 – se utilizează la valoarea curenţilor până la 70A ; Э – 2 – pentru curenţi cu valoarea până la 400 A şi Э – 3 – pentru curenţi cu valoarea până la 400 A şi Э – 4 – pentru curenţi cu valoarea mai mare de 400 A.

Conductori (cabluri) de sudare. Curentul electric de la reţeaua de forţă se transmite către aparatele de sudat prin conductori PRN şi PRGN. De la aparatele de sudare către locurile de muncă conductorul PRGD cu izolaţie de cauciuc. La portelectrod se uneşte conductorul de cupru PRDG cu lungimea nu mai mică de 3 m.

În tabelul 4.1 sunt prezentate datele necesare pentru alegerea secţiunii conductorilor flexibili pentru sudare.

Tabelul 4.1. *Secţiunea conductorului flexibil de sudat în dependenţă de mărimea curentului electric*

Mărimea admisă a curentului, A	*Secţiunea conductorului, mm²*		*Mărimea admisă a curentului, A*	*Secţiunea conductorului, mm²*	
	Simplu	*Dublu*		*Simplu*	*Dublu*
100	16	-	600	95	2×35
200	25	2×10	800	-	2×50
300	50	2×16	1000	-	2×70
400	70	2×25	-	-	-

Capitolul 5

SUDAREA ELCTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIŢI

Prelucrarea suprafeţelor de sudat. În scopul obţinerii unei suduri calitative, marginile pieselor ce urmează a fi sudate, se prelucrează. În urma prelucrării se formează locaşuri numite *rosturi,* care ulterior sunt umplute cu sudură. Forma geometrică a rosturilor este standardizată şi stabilită în funcţie de caracteristicile fizice ale materialului sudat, grosimea acestuia, tipul şi metoda sudării. Mai frecvent sunt utilizate următoarele rosturi (fig.5.1): a) fără teşire; b) cu margini refulate; c) cu teşirea unei margini; d) cu teşirea ambelor margini; e) cu teşirea curbilinie a ambelor margini; f) cu teşirea curbilinie a unei margini; g) cu teşirea liniară a ambelor margini; h) cu teşirea curbilinie bilaterală a ambelor margini.

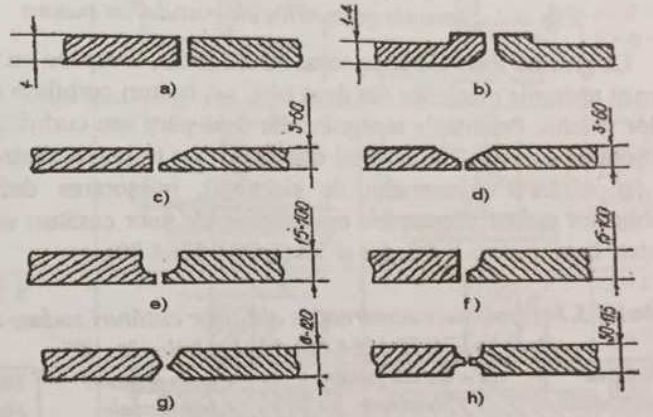


Fig. 5.1. *Tipuri de rosturi*

În standardele respective ale sudurilor, rosturile sunt grupate în funcţie de poziţia reciprocă a elementelor de sudat şi a dimensiunilor acestora, având o notaţie convenţională alfa-numerică alcătuită dintr-o literă, care indică tipul îmbinării (I, X, Y, U) şi o cifră oarecare (1 ÷ 40), care determină dimensiunile principale ale rosturilor.

5.1. Forme de rosturi

Rostul este spaţiul dintre suprafeţele frontale ale pieselor ce urmează să fie sudate (fig. 5.2). Rostul este necesar pentru a asigura pătrunderea sudurii pe întreaga secţiune a materialului de bază. Modul de prezentare a pieselor pentru sudare este standardizat (de exemplu, SR EN 29682 pentru cazul pieselor din oţel sudate cu electrozi înveliţi, cu arc electric în mediu de gaz protector sau cu gaz) (standarde europene).

Muchiile înclinate se rotunjesc, pentru evitarea arsurilor în rădăcina cusăturii. Pentru topirea mai bună între capetele sudate ale componentelor se lasă un joc. Forma prelucrării capetelor trebuie să asigure posibilitatea de manipulare liberă cu electrodul în timpul sudării la un volum cât mai mic al cusăturii. Jocurile şi dimensiunile muchiilor (rosturilor) trebuie să fie neschimbate pe toată lungimea îmbinării în limitele toleranţei.

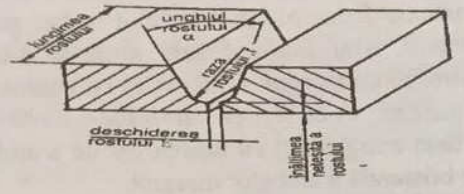
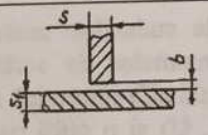
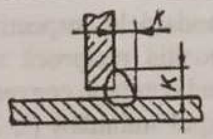
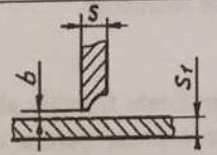
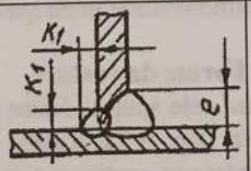


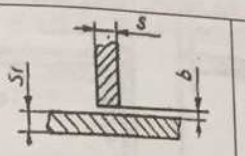
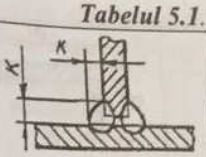
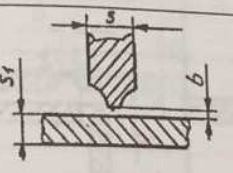
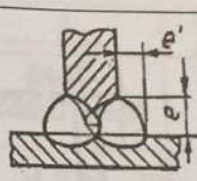
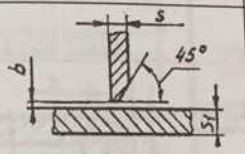
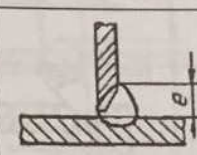
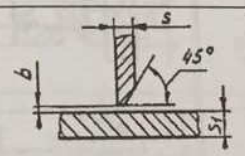
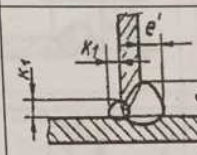
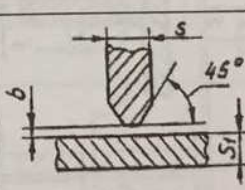
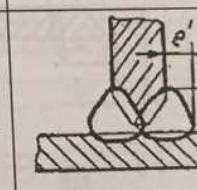
Fig. 5.2. Elemente geometrice ale rostului de sudare

La grosimi mari ale componentelor de sudat, începând cu 12mm, se utilizează teşiturile muchiilor din două părţi sau teşituri curbilinii a unei sau ambelor muchii. Priorităţile teşiturilor din două părţi sau curbilinii constau în micşorarea consumului de metal comparativ cu teşiturile dintr-o singură parte (şi scăderea consumului de electrozi), micşorarea deformaţiilor ansamblurilor sudate. Elementele constructive ale unor cusături sudate sunt prezentate în tabelele 5.1, 5.2, 5.3 şi 5.4 (GOST 5264-80).

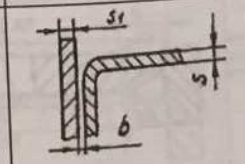
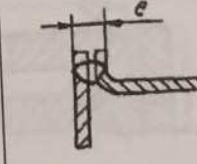
***Tabelul 5.1**. Elementele constructive ale unor cusături sudate cu arc electric (GOST 5264-80) a îmbinărilor în „T"*

Notarea convenţională a cusăturii	*Forma marginilor prelucrate*	*Forma secţiunii transversale*	*Dimensiunile elementelor constructive, mm*
T 1			S = 2 ÷ 40 $S_1 \geq 2$ b = 0 ÷ 3 k = ?
T 2			S = 15 ÷ 100 $S_1 \geq 0,5S$ e = 14 ÷ 47 k = ?

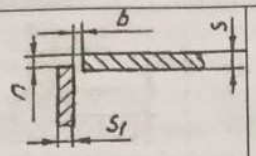
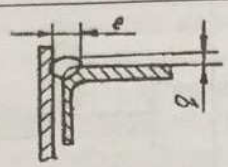
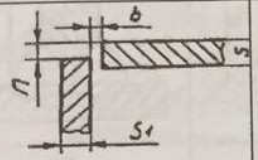
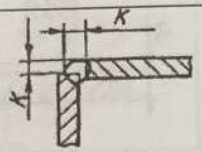
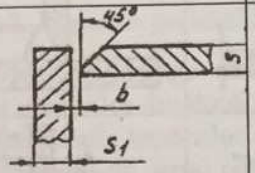
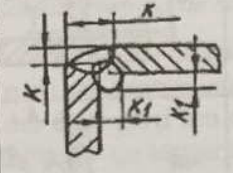
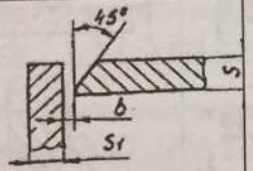
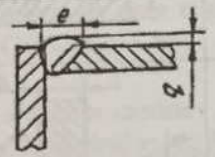
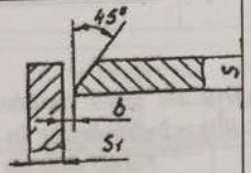
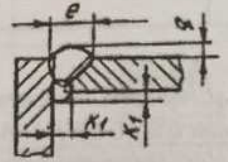
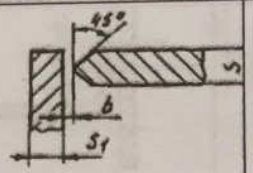
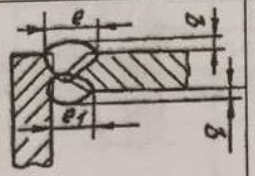
***Tabelul 5.1**. (continuare)*

T 3			S = 2 ÷ 40 $S_1 \geq 2$ b = 0 ÷ 3 k = ?
T 5			S = 30 ÷ 120 $S_1 \geq 0,5S$ e = 14 ÷ 36 e' = 0,15S ÷ 0,5S b = 0 ÷ 3
T 6			S = 3 ÷ 60 $S_1 \geq 0,5S$ e = 7 ÷ 62 b = 0 ÷ 3
T 7			S = 3 ÷ 60 $S_1 \geq 0,5S$ e = 7 ÷ 62 e' = 0,15S ÷ 0,5S k = ?
T 8			S = 8 ÷ 100 $S_1 \geq 0,5S$ e = 9 ÷ 56 e' = 0,15S ÷ 0,5S b = 0 ÷ 3

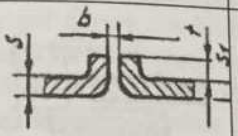
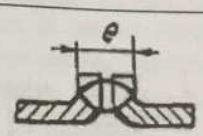
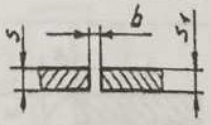
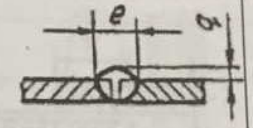
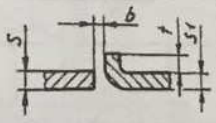
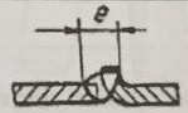
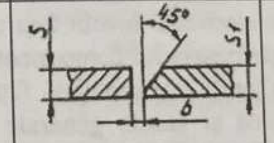
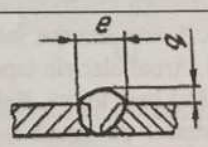
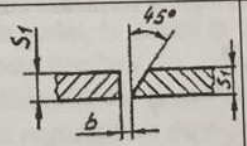
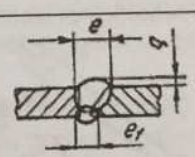
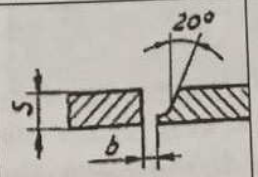
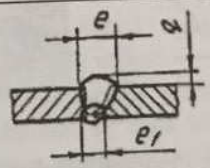
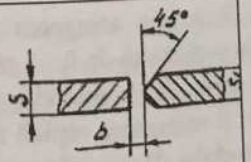
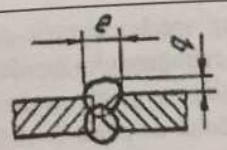
***Tabelul 5.2**. Elementele constructive ale unor cusături sudate cu arc electric (GOST 5264-80) a îmbinărilor în colţ*

Notarea convenţională a cusăturii	*Forma marginilor prelucrate*	*Forma secţiunii transversale*	*Dimensiunile elementelor constructive, mm*
Y 1			S = 1 ÷ 4 $S_1 \geq 1$ b = 0 ÷ 1 $e \leq 2S + 3$ t = S ÷ 3S

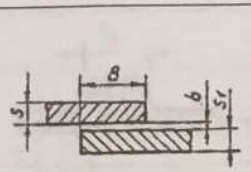
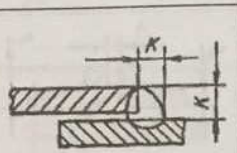
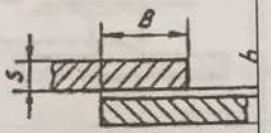
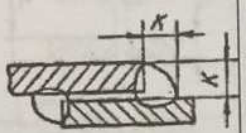
Tabelul 5.2. *(continuare)*

Y2			$S = 1 \div 12$ $S_1 \geq 1$ $e = 5 \div 17$ $q = 0 \div 2$ $b = 0 \div 2$
Y4			$S = 2 \div 8$ $S_1 \geq 2$ $n = 0{,}5S \div S$ $b = 0 \div 2$ $k = ?$
Y 5			$S = 2 \div 30$ $S_1 \geq 2$ $n = 0{,}5S \div S$ $b = 0 \div 2;$ $k = ?\ k_1 = ?$
Y 6			$S = 3 \div 60$ $S_1 \geq 0{,}5S$ $e = 8 \div 64$ $q = 0{,}5 \div 2{,}5$ $b = 0 \div 3$
Y7			$S = 3 \div 60$ $S_1 \geq 0{,}5S$ $e = 8 \div 64$ $q = 0{,}5 \div 2{,}5$ $b = 0 \div 3$
Y 8			$S = 8 \div 58$ $S_1 \geq 0{,}5S$ $e = 9 \div 56$ $e_1 = 9 \div 60$ $q = 0{,}5 \div 2{,}5$ $b = 0 \div 3$

Tabelul 5.3. *Elementele constructive ale unor cusături sudate cu arc electric (GOST 5264-80) a îmbinărilor cap la cap*

Notarea convențională a cusăturii	*Forma marginilor prelucrate*	*Forma secțiunii transversale*	*Dimensiunile elementelor constructive, mm*
C1			$S = S_1 = 1 \div 4$ $e = 2S + 3$ $b = 0 \div 1$ $t = S \div 3S$
C2			$S = S_1 = 1 \div 4$ $e = 1 \div 8$ $b = 0 \div 3$ $t = 1 \div 3$
C3			$S = S_1 = 1 \div 4$ $b = 0 \div 1$ $e = 2S + 3$ $t = S + 3S$
C8			$S = S_1 = 3 \div 60$ $e = 8 \div 64$ $q = 0{,}5 \div 2{,}5$ $b = 0 \div 3$
C12			$S = S_1 = 3 \div 60$ $e = 8 \div 64$ $e_1 = 8 \div 12$ $b = 0 \div 3$
C13			$S = S_1 = 15 \div 100$ $e = 16 \div 48$ $e_1 = 10 \div 14$ $b = 0 \div 3$ $q = 0 \div 5{,}5$
C15			$S = S_1 = 8 \div 100$ $e = 10 \div 58$ $b = 0 \div 3$ $q = 0 \div 3{,}5$

Tabelul 5.4. *Elementele constructive ale unor cusături sudate cu arc electric (GOST 5264-80) a îmbinărilor suprapuse*

Notarea convenţională a cusăturii	*Forma marginilor prelucrate*	*Forma secţiunii transversale*	*Dimensiunile elementelor constructive, mm*
H1			S = 2 ÷ 60 $S_1 \geq 2$ B = 3 ÷ 240 b = 0 ÷ 1 k = ?
H2			S = 2 ÷ 60 $S_1 \geq 2$ B = 3 ÷ 240 b = 0 ÷ 1 k = ?

5.2. Principiul sudării electrice

Principiul sudării electrice cu electrozi înveliţi este ilustrat în figura 5.3. Arcul electric **1** este amorsat între electrodul învelit **2** şi componentele care se sudează **5**. Arcul electric topeşte materialul componentelor şi vârful electrodului formând baia topită. Baia topită este protejată faţă de acţiunea atmosferei prin stratul de zgură lichidă şi gazele generate de învelişul electrodului. După solidificarea metalului topit se formează cusătura sudată **4**.

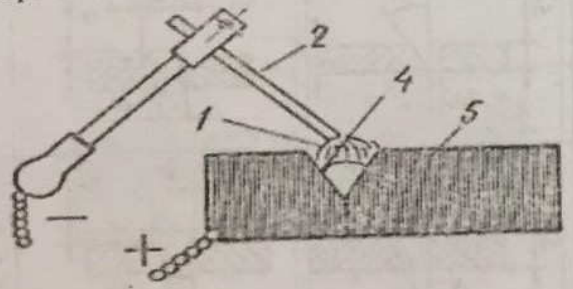


Fig. 5.3. *Principiul sudări cu electrozi înveliţi (fuzibili)*

Amorsarea arcului electric se face prin atingerea electrodului de piesa de sudat şi retragerea lui rapidă la o distanţă de 2...5 mm. Procesul de amorsare a arcului se poate realiza prin două metode (fig. 5.4): prin atingerea electrodului de piesa de sudat şi retragerea rapidă a lui în sus (fig. 5.4, a) sau prin frecarea capătului electrodului de suprafaţa piesei de sudat şi retragerea rapidă a lui în sus (fig. 5.4, b).

5.3. Ionizarea zonei arcului

Arcul electric utilizat pentru sudarea metalelor se numeşte *arc de sudare.* Acest arc cel mai frecvent arde între electrod şi componentele de sudat, adică este arc cu acţiune directă.

În condiţii obişnuite gazele nu conduc curentul electric, fiindcă ele sunt compuse din molecule neutre şi atomi, care nu sunt purtători de sarcină electrică. Gazele pot deveni conductoare de curent electric numai atunci, când în componenţa lor vor fi particule cu sarcină – electroni şi de asemenea ioni încărcaţi pozitiv şi negativ. Procesul de formare a acestor particule se numeşte *ionizare,* iar gazul – *ionizat.*

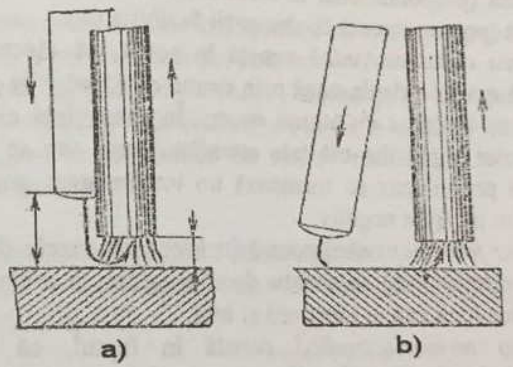


Fig 5.4. *Scheme de amorsare a arcului electric*

Ionizarea zonei arcului şi apariţia arcului electric între electrod şi componentele de sudat, la sudare în curent continuu cu polaritate directă se realizează în modul următor.

La (scurtcircuitarea) atingerea electrodului (catod) de piesa de sudat (anod) din cauza rugozităţilor suprafeţelor în contact, atingerea se realizează între unele proeminenţe (microneregularităţi). În aceste puncte se elimină căldură considerabilă (fig. 5.5). Această căldură considerabil măreşte mişcarea electronilor liberi în circuitul închis de sudare.

La îndepărtarea electrodului de la piesă, electronii liberi sub influenţa câmpului electric încep să pătrundă în zona arcului. Apare, aşa numita, emisie de electroni, adică ieşirea electronilor liberi din catod în spaţiul gazos.

Electronii conduc la amorsarea arcului de sudură. Electronii, care ies din capătul electrodului ca rezultat al acestei emisii, se completează din sursa de alimentare a curentului de sudare şi ca consecinţă arcul arde neîntrerupt.

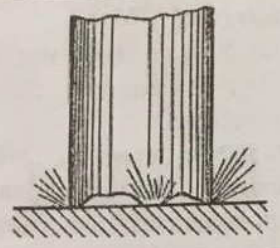


Fig. 5.5. Schema de scurtcircuitare a electrodului cu piesa de sudat

În zona arcului deosebim următoarele feluri de ionizare: termoelectronică (preponderentă la electrozii nefuzibili), fotoelectronică şi autoelectronică (preponderentă la electrozii fuzibili).

Ionizarea autoelectronică constă în aceea, că electronii emişi de catod cu viteză mare se deplasează prin stratul molecular de gaz spre anod. În calea sa ei se ciocnesc cu atomii neutri. În consecinţă electronul poate despărţi electronii legaţi din orbitele atomilor neutri sau se pot instala pe orbitele lor. În primul caz se formează un ion încărcat pozitiv, iar în al doilea caz un ion încărcat negativ.

Ionizarea fotoelectronică constă în aceea că, razele de lumină (mai cu seamă cele ultraviolete) se absorb de către atomi şi molecule, formând particule electrice încărcate – electroni şi ioni.

Ionizarea termoelectronică constă în faptul, că la avansarea temperaturii gazelor şi vaporilor în zona arcului se măreşte numărul de ciocniri şi prin aceasta se măreşte intensitatea de formare a ionilor şi electronilor. În aşa fel, ionizarea permanentă a gazului creează condiţiile necesare pentru ardere stabilă a arcului.

Pentru avansarea stabilităţii de ardere a arcului în el prin învelişurile electrozilor sau prin flux se introduc substanţe chimice, care posedă *potenţial scăzut de ionizare,* adică o cantitate scăzută de energie, necesară pentru despărţirea electronului de la atom. Aşa substanţe sunt compuşii chimici ai potasiului, sodiului, calciului, oxizii de fier, creta, marmura ş.a.

Sudarea poate fi efectuată în curent continuu sau alternativ. Menţinerea constantă a puterii arcului electric se asigură de către sudor prin sistemul de reglare exterioară (prin controlul lungimii arcului).

După solidificare, cusătura sudată este acoperită cu un strat de zgură, care trebuie îndepărtat. La sudarea în mai multe treceri, rămăşiţele de zgură pot conduce la producerea unor defecte de sudare (incluziuni de zgură).

Sudarea cu electrozi înveliţi se remarcă printr-un grad înalt de universalitate, atât din punct de vedere al diversităţii materialelor sudate, cât şi poziţiilor de sudare şi grosimilor materialelor ce urmează să fie sudate. Grosimea minimă a materialelor care urmează să fie sudate depinde în mare măsură de îndemânarea operatorului. Un sudor instruit poate suda table din oţel cu grosimea de 1,5 mm. Grosimea maximă ce poate fi sudată nu este

limitată de procedeu, ci doar de considerente economice.

Sudarea cu electrozi înveliţi se desfăşoară în majoritatea situaţiilor în variantă manuală.

Cantitatea de metal ce se depune prin sudare într-o unitate de timp, numită rată a depunerii, este redusă (1,8...5,4 kg/h).

Sudarea cu electrozi înveliţi se foloseşte pe larg datorită următoarelor avantaje:

- grad înalt de universalitate, inclusiv pentru sudarea în poziţii dificile;
- consumuri scăzute pentru achiziţionarea şi întreţinerea utilajului de sudare;
- varietate mare de electrozi înveliţi, cu uşurinţă de procurat;
- calitate bună a îmbinărilor sudate.

Aplicarea procesului necesită îndemânare din partea sudorului. Pregătirea lui teoretică şi practică trebuie să fie la un nivel înalt.

Ca neajuns a procesului de sudare manuală poate fi menţionată productivitatea lui scăzută.

5.4. Tehnica manipulării electrodului

În timpul sudării, sudorul transmite capătului electrodului o mişcare după trei direcţii (fig. 5.6).

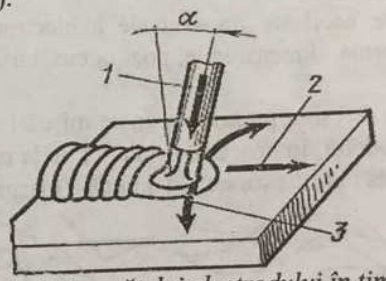


Fig. 5.6. Schema mişcării capătului electrodului în timpul sudării

Prima mişcare – de translaţie (1), în direcţia axei electrodului pentru menţinerea lungimii necesare a arcului. Lungimea arcului exercită influenţă mare asupra calităţii cusăturii sudate şi formei ei. Arcului lung îi este caracteristică oxidarea şi azotarea intensivă a metalului topit şi *stropirii lui* (favorizând apariţia stropilor)

A doua mişcare – înaintarea electrodului în lungul axei (2) rostului, pentru formarea cordonului (cusăturii) de sudură. Viteza de înaintare a electrodului depinde de valoarea curentului, diametrul electrodului, tipul şi poziţia spaţială a cusăturii. Viteza corectă de înaintare a electrodului în direcţia axei cusăturii asigură forma necesară şi calitatea cusăturii. La viteze mari de înaintare a electrodului, metalul de bază nu reuşeşte să se topească

şi drept consecinţă se formează o adâncime a topirii, nesatisfăcătoare – sudura nepătrunsă. Viteza inferioară de înaintare a electrodului conduce la supraîncălzirea şi la arderea (topirea străpunsă) a metalului şi de asemenea micşorarea productivităţii şi calităţii sudurii. Viteza corectă a înaintării electrodului în lungul cusăturii permite obţinerea lăţimii ei de 2...3 mm mai mare decât diametrul electrodului (rând îngust). Astfel de rânduri se depun la formarea rădăcinilor în cazul sudurilor în V, X şi la sudarea tablelor subţiri.

A treia mişcare – oscilantă transversală a electrodului (3). Aceste mişcări sunt favorabile din mai multe motive:

- se îmbunătăţeşte încălzirea marginilor pieselor, se măresc dimensiunile băii topite;
- metalul depus rămâne mai mult timp în stare lichidă, micşorându-se probabilitatea apariţiei unor lipsuri de sudare, a suflurilor, a porozităţilor şi a fisurilor;
- suprafaţa cusăturii este regulată, zgura având posibilitatea să se ridice la suprafaţa băii.

Mişcările transversale la electrozii cu înveliş gros ajută la ghidarea zgurii, astfel ca ea să treacă prin arc. Lăţimea rândului depinde de felul electrodului. Lăţimea optimă a rândului este de 2,5...4 ori diametrul inimii metalice a electrodului.

Mişcările oscilante transversale a electrodului sunt diferite şi se determină de forma, dimensiunile, poziţia cusăturii în spaţiu şi deprinderile sudorului.

În figura 5.7 sunt prezentate unele mişcări oscilante transversale ale capătului electrodului. În procesul oscilaţiei pe la capete electrodul se reţine mai mult. Aceasta permite topirea mai bună a marginilor pieselor de bază.

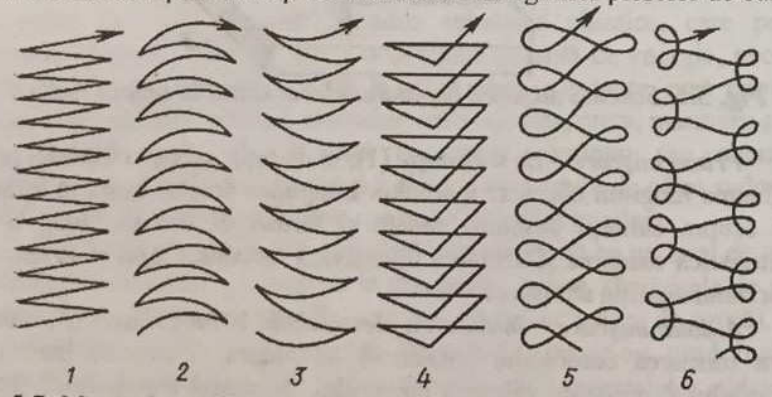


Fig. 5.7. *Mişcările oscilante transversale ale electrodului în timpul sudării: 1, 2, 3 – pentru încălzirea uniformă a băii de sudare; 4 – pentru încălzirea mai puternică a rădăcinii sudurii; 5, 6 – pentru încălzirea mai puternică a marginilor rostului*

În procesul de sudare lungimea arcului (l_a) trebuie să fie cât mai mică şi în dependenţă de lungimea electrodului să fie în limitele:

$$l_a = (0{,}5...1{,}1)\, d_e ,$$

unde d_e – este diametrul electrodului, mm.

În procesul arderii arcului se formează o adâncitură în metalul lichid, numită crater. Craterul este locul acumulării impurităţilor metalice, care pot conduce la apariţia crăpăturilor. De aceea în cazul stingerii arcului, aprinderea lui repetată trebuie realizată înaintea craterului (fig. 5.8), electrodul trebuie deplasat în urma craterului de metal topit solidificat şi numai după aceasta se continuă procesul de sudare. Sudorul trebuie atent să urmărească topirea muchiilor rostului metalului de bază şi capătului electrodului, topirea rădăcinii cusăturii şi neadmiterea scurgerii metalului lichid înaintea arcului. Se termină procesul de sudare cu topirea craterului. Pentru aceasta electrodul se ţine nemişcat până la stingerea arcului sau se scurtează arcul până la circuitul scurt, după ce arcul se stinge.

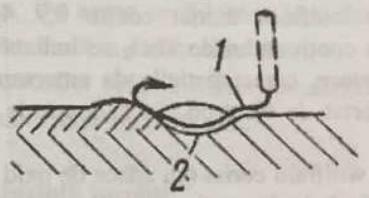


Fig. 5.8. *Schema amorsării arcului după stingere: 1 – locul aprinderii repetate; 2 – crater*

Ca regulă, sudarea se realizează cu electrod vertical sau înclinat faţă de cusătură la un unghi înainte şi înapoi (fig. 5.9). La sudarea cu înclinarea electrodului înainte sau înapoi se asigură topirea mai completă şi lăţime cusăturii mai scăzută. Sudarea cu înclinaţia electrodului înapoi se realizează la îmbinările prin suprapunere în unghi şi în „T".

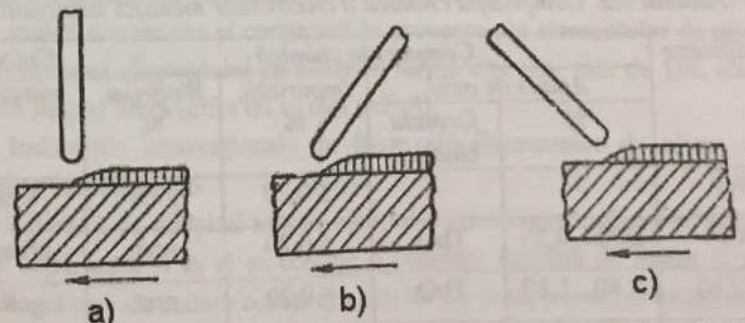


Fig. 5.9. *Poziţiile electrodului în timpul sudării: a – verticală; b – înclinată înainte; c – înclinată înapoi (săgeata indică direcţia sudării)*

5.5. Electrozi pentru sudarea cu arc electric

La sudarea manuală se utilizează *electrozi fuzibili* şi *electrozi nefuzibili.*

Electrozii nefuzibili se confecţionează din wolfram, cărbune sau din grafit. Electrozii din cărbune şi grafit (bare) se confecţionează cu diametrul de la 4 până la 18mm şi lungimea de 250 şi 700 mm. Electrozii din grafit au o conductibilitate electrică mai bună şi sunt mai rezistenţi contra oxidării la temperaturi înalte, decât electrozii din cărbune.

Wolframul este un metal greu fuzibil (refractar). Temperatura de topire a wolframului constituie 3410° C. Wolframul are conductibilitatea electrică şi conductibilitate termică avansate. La sudarea cu electrod de wolfram cu curent continuu se foloseşte polaritatea directă (tabelul 5.5).

Electrozii din wolfram pur (> 99,5% W) se folosesc în special pentru sudarea în curent electric alternativ a aluminiului şi magneziului, arcul electric având o stabilitate bună.

Electrozii cu wolfram thoriat conţin 0,9...4,2% oxid de thoriu (ThO_2). Cu creşterea conţinutului de ThO_2 se îmbunătăţesc caracteristicile termoemisive şi ca atare, caracteristicile de amorsare, durata de viaţă şi curentul maxim suportat de electrod. Se sudează de preferinţă, în curent continuu.

Electrozii din wolfram ceriat (cu adaos de oxid de ceriu) au o viteză de vaporizare mai redusă decât cei thoriaţi şi în acelaşi timp, nu sunt toxici (ceriul nefiind radioactiv). Se sudează cu curent continuu şi cu curent alternativ.

Electrozii din wolfram lantanat cu adaosuri de 0,9...1,20% de lantan (LaO_2) sunt asemănători cu cei ceriaţi. Au o durată de viaţă mai lungă decât electrozii din wolfram thoriat şi se folosesc mai frecvent la sudarea cu plasmă.

***Tabelul 5.5.** Compoziţia chimică a electrozilor metalici nefuzibili*

Codificare	Compoziţia chimică				Culoarea marcajului
	Adaos de oxid		Impurităţi, %	Wolfram, %	
	%	formula chimică			
WP	-	-	≤ 0,20	99,8	Verde
WT4	0,35...0,55	ThO_2	≤ 0,20	rest	albastru
WT10	0,80...1,20	ThO_2	≤ 0,20	rest	galben
WT20	1,70...2,20	ThO_2	≤ 0,20	rest	roşu

***Tabelul 5.5.** (continuare)*

WT30	2,80...3,20	ThO_2	≤ 0,20	rest	violet
WT40	3,80...4,20	ThO_2	≤ 0,20	rest	orange
WZ3	0,15...0,50	ZrO_2	≤ 0,20	rest	brun
WZ8	0,70...0,90	ZrO_2	≤ 0,20	rest	alb
WL10	0,90...1,20	LaO_2	≤ 0,20	rest	negru
WC20	1,80...2,20	CeO_2	≤ 0,20	rest	gri

Se utilizează electrozi din wolfram zirconiat cu adaos de 0,3...0,9 oxid de zirconiu (ZrO_2). Au caracteristici de amorsare mai slabe decât electrozii thoriaţi, dar pericolul de impurificare a băii topite prin impurităţi de wolfram este redus. De aceea se folosesc la sudarea oţelurilor pentru reactoare nucleare. Se sudează în curent alternativ.

Diametrele electrozilor nefuzibili sunt standardizate şi au valori între 0,5...10 mm, iar lungimile între 50...175 mm.

5.6. Electrozi fuzibili înveliţi

Electrozii fuzibili înveliţi sunt formaţi dintr-o vergea metalică acoperită cu un înveliş depus prin presare sau imersionare. Pentru fabricarea electrozilor se utilizează sârma de sudare, care conform GOST 2246-70 se divizează în sârmă din oţel carbon, sârmă aliată şi sârmă înalt aliată. GOST-ul prevede 27 mărci de sârmă de sudare. Marcarea electrozilor include combinaţii din litere şi cifre. Primele două cifre indică conţinutul carbonului în sârmă, în sutimi de procente. Pe urmă cu literă şi cifră (cifre) una după alta se indică denumirea şi conţinutul în procente ale elementelor de aliere. Dacă conţinutul elementului de aliere în sârmă este mai mic de 1%, atunci se indică numai litera (cifra nu se mai indică).

Indicaţiile convenţionale cu litere ale elementelor de aliere sunt prezentate în tabelul 5.6.

Litera A la sfârşitul mărcii oţelului demonstrează, că oţelul este de calitate superioară şi în el se conţine o cantitate minimă de fosfor şi sulf. Indicarea sârmei de sudare constă din literele Св (сварочная) şi componenţa ei cu litere şi cifre. De exemplu, sârma din oţel cu conţinut redus de carbon cu siliciu şi mangan, care conţine 1,40% Mn şi 0,60...0,85 Si, se indică Св – 08 Г2С (GOST 2246-70).

Tabelul 5.6. *Indicaţiile convenţionale cu litere ale elementelor de aliere*

Denumirea	*Simbolul chimic al elementului*	*Însemnarea la marcarea metalului*
Mangan	Mn	Г
Siliciu	Si	С
Crom	Cr	Х
Nichel	Ni	Н
Molibden	Mo	М
Wolfram	W	В
Seleniu	Se	Е
Aluminiu	Al	Ю
Titan	Ti	Т
Niobiu	Nb	Б
Vanadiu	V	Ф
Cobalt	Co	К
Cupru	Cu	Д
Bor	B	Р
Azot	N	А

Sârma pentru electrozi din aluminiu şi aliajele lui se marchează: АО, $А_1$, АД, $АД_1$, АМц, АМг etc, unde cifra indică cantitatea de impurităţi (GOST 7871-63).

Pentru sudarea cuprului şi aliajelor sale se utilizează electrozi cu vergele din cupru М1 şi М2, bronz Бр КМц3 – 1. Cupru se marchează cu litera D, bronzul – Бр.(Bz).

Electrozii înveliţi se livrează în cutii de carton, ambalaţi în cutii de material plastic, sudate sau în cutii metalice. Ei trebuie păstraţi în încăperi cu umiditatea relativă sub 70% (electrozi nebazici), respectiv 40% (electrozi bazici) şi la temperatură constantă. O depozitare necorespunzătoare a electrozilor poate conduce la absorbţia de umezeală în înveliş şi prin aceasta la creşterea cantităţii de hidrogen în metalul depus. Durata maximă de depozitare a electrozilor este limitată în timp. Ea depinde de tipul electrozilor, valoarea ei fiind stabilită prin consultarea furnizorului. Înainte de utilizare electrozii înveliţi trebuie uscaţi (calcinaţi) la o temperatură

recomandată de producător:

- 120...150° C pentru electrozi titanici;
- 200...400° C pentru electrozi bazici.

Durata de menţinere la această temperatură este de 1...2 ore. Cu mare excepţie este interzisă uscarea electrozilor cu înveliş celulozic.

5.7. Metode de formare a cusăturilor de diferite lungimi

Toate cusăturile după lungime se împart în trei grupe:

- cu lungimea 250...300 mm – cusături scurte;
- cu lungimea 300...1000 mm – cusături de lungime medie;
- cu lungimea mai mare de 1000 mm – cusături lungi.

Prin metoda de formare a cusăturilor se înţelege ordinea de aşezare a rândurilor de suduri în vederea formării cusăturii, aplicând un procedeu oarecare de sudare. Metodele de formare a cusăturii se pot împărţi după: lungime, secţiunea şi poziţia în spaţiu a cusăturii, precum şi după dimensiunile construcţiei sudate.

De alegerea metodei de formare a cusăturii depinde mărimea tensiunilor proprii şi a deformaţiilor care apar ulterior în sudură sau chiar în întreaga construcţie.

Cusăturile scurte (până la 300 mm) se realizează cu un singur electrod într-un singur sens.

Cusăturile medii pot fi executate într-un singur sens sau de la mijloc spre cele două extremităţi (margini).

Pentru a reduce deformaţiile, respectiv tensiunile proprii la sudare, cusăturile de lungime mai mare de 1000 mm se realizează prin una din următoarele metode:

- prin înaintare în acelaşi sens;
- prin înaintare pe porţiuni alternative în acelaşi sens;
- în pas pierdut;
- în pas pierdut cu alternarea sensului;
- la piese cu grosimi mari se aplică sudarea în cascadă sau sudarea în cornişă.

Lungimea porţiunilor sudate depind de grosimea pieselor de sudat şi variază între 100 şi 400 mm. Cu cât grosimea pieselor este mai mică, cu atât sunt mai scurte cusăturile. În mod obişnuit se aleg lungimi la care depunerea se poate face cu un singur electrod. Dacă rândul are lungime mare, fiecare porţiune se sudează cu doi electrozi. Dacă cusătura se compune din mai multe rânduri, trebuie de urmărit ca locurile de întrerupere ale rândurilor să nu coincidă.

Sudarea cu înaintare în acelaşi sens. Rândurile de cusătură se depun în acelaşi sens (fig. 5.10). După depunerea primului rând, următoarele rânduri din cusătură pot fi depuse în acelaşi sens ca şi primul rând (fig. 5.10,

a), sau pot fi depuse în sens opus (fig. 5.10, b). Deformaţiile obţinute sunt mari. Tensiunile proprii sunt uniform repartizate.

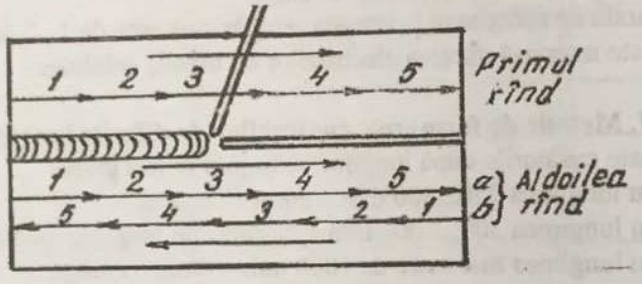


Fig. 5.10. Sudarea cu înaintarea în acelaşi sens

Sudarea pe porţiuni alternative în acelaşi sens. Cusătura se împarte în porţiuni, care se sudează în următoarea ordine (fig. 5.11): cea de la început (1), cea de la sfârşit (2), cea de la mijloc (3), apoi cele intermediare (4) şi (5). La sudarea rândurilor următoare se inversează ordinea (vezi fig. 5.10). În rândurile care se succed, sensul sudării poate fi acelaşi (fig. 5.11, a) sau invers (fig. 5.11,b).

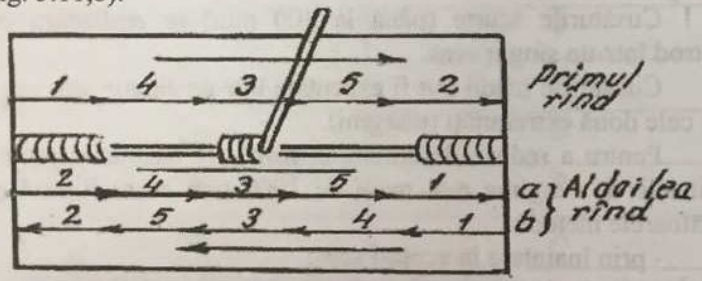


Fig. 5.11. Sudarea pe porţiuni alternative în acelaşi sens

Sudarea în pas pierdut (fig. 5.12). Porţiunile se sudează în sens opus faţă de sensul de înaintare a cusăturii.

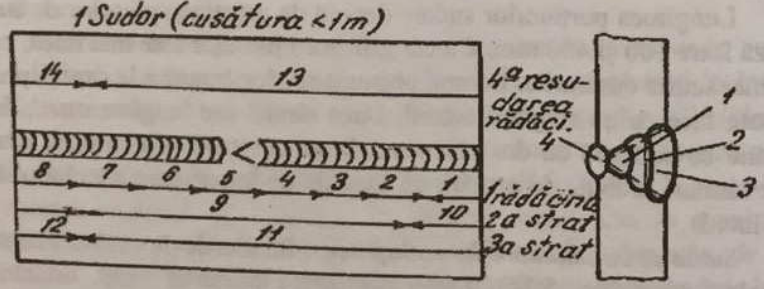


Fig. 5.12. Sudarea în pas pierdut

Cele mai bune rezultate se obţin, dacă sudarea se începe la mijlocul cusăturii şi înaintează spre capete (fig. 5.13, a). Cusăturile lungi se pot depune de doi sudori, care încep de la mijloc, unul înaintând spre un capăt, iar celălalt spre capătul opus (fig. 5.13, b).

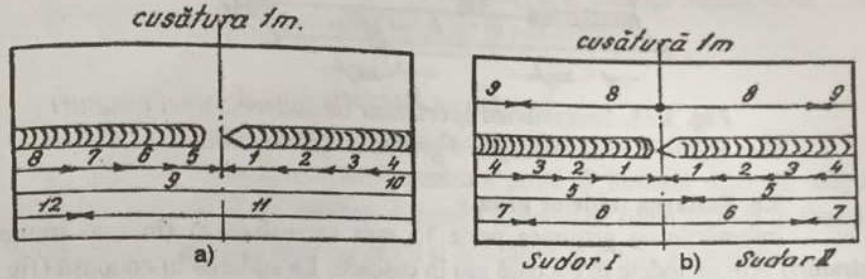


Fig. 5.13. Sudarea în pas pierdut de la mijlocul cusăturii: a – executat în trei rânduri de un sudor; b – executat în patru rânduri de doi sudori simultan

În figurile 5.14, 5.15 şi 5.16 sunt prezentate diferite posibilităţi de realizare a legăturilor sudate: cap la cap (V şi X), în colţ şi a unei grinzi.

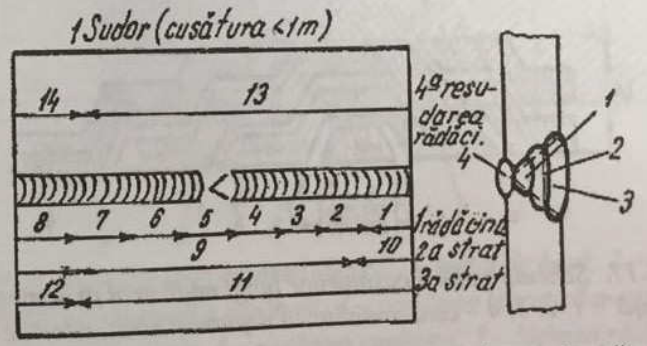


Fig. 5.14. Sudarea în pas pierdut prin şase straturi a unei cusături în "X"

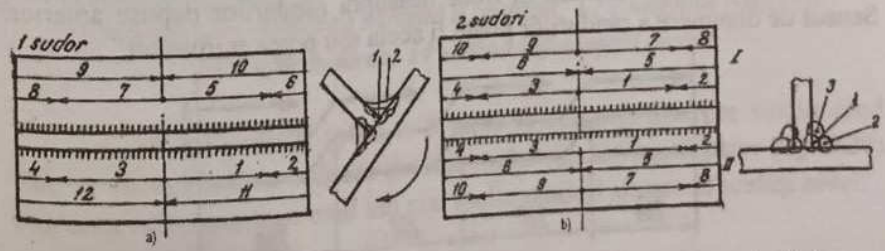


Fig. 5.15. Ordinea de sudare a unei legături de colţ: a – executată de un sudor (două straturi); b – executată simultan de doi sudori (trei starturi)

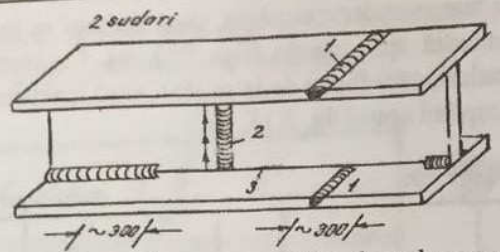


Fig. 5.16. Succesiunea operaţiilor de sudare a unei cusături de montaj la o grindă cu inima plină

5.8. Sudarea tablelor groase

Îmbinările cu grosimea peste 15 mm se realizează (în mai multe straturi) prin metodele în cocoaşă sau în cascadă. La sudarea în cocoaşă (fig. 5.17) pe o porţiune de 200...300 mm se depune primul strat de sudură.

După curăţarea primului strat de zgură, crustă şi stropi pe el se depune al doilea strat pe o lungime mai mare, decât primul strat.

În sfârşit, retrăgându-ne în dreapta de la începutul stratului al doilea la 200...300 mm, depunem al treilea strat. În aşa fel se realizează sudarea (umplerea rostului) în ambele părţi de la „*cocoaşa*" centrală cu cusături scurte.

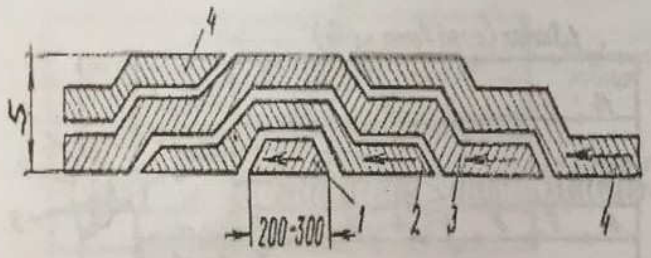


Fig. 5.17. Schema sudării cusăturilor lungi multistrat prin metoda în „cocoaşă": 1, 2, 3, 4 – consecutivitatea depunerii straturilor de sudare

Metoda în „*cascadă*" (fig. 5.18) constă în aceia, că fiecare rând se termină la rădăcina cusăturii şi trece deasupra rândurilor depuse anterior. Sensul de depunere a rândurilor poate fi acela sau poate fi inversat.

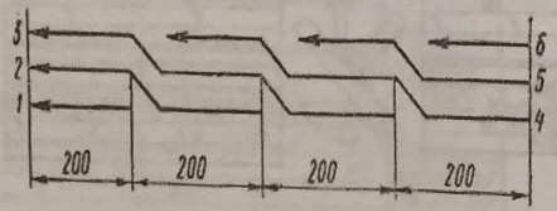


Fig. 5.18. Schema sudării cusăturilor lungi multistrat prin metoda „cascadă": 1, 2, 3, 4, 5, 6 –consecutivitatea depunerii straturilor de sudură

Resudarea rădăcinii cusăturii urmăreşte pericolul apariţiei unor fisuri la rădăcină, cauzate de tensiunile proprii.

În vederea acestei operaţii, după depunerea a două sau trei rânduri se scobeşte rădăcina (pe partea opusă a tablelor) şi în canalul format se depune un rând de cusătură (fie în acela sens, fie în pas pierdut).

5.9. Secţiunea transversală a cusăturii

Elementele unei cusături sudate sunt prezentate în figura 5.19.

După mărimea secţiunii, cusătura poate fi formată dintr-un singur rând sau din mai multe rânduri. Alegerea metodei de sudat se face în funcţie de grosimea tablelor, felul cusăturii şi de poziţia în spaţiu a acestora.

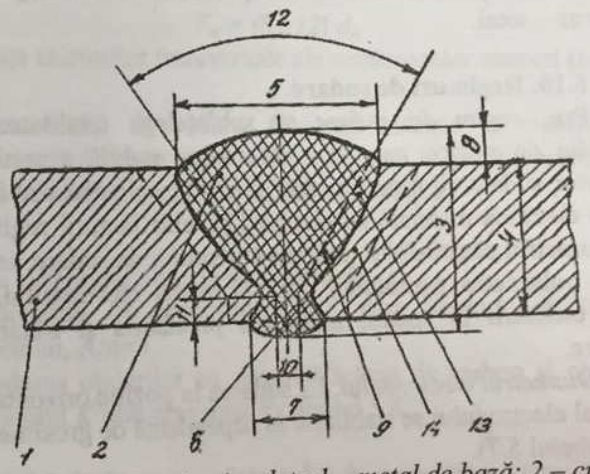


Fig. 5.19. Elementele unei cusături sudate: 1 – metal de bază; 2 – cusătură; 3 – grosimea practică a cusăturii; 4 – grosimea teoretică a cusăturii; 5 – lăţimea cusăturii; 6 – rădăcina cusăturii; 7 – lăţimea rădăcinii cusăturii; 8 – îngroşare (supraînălţare); 9 – rost; 10 – deschiderea rostului; 11 – înălţimea neteşită a rostului; 12 – unghiul rostului; 13 – pătrunderea; 14 – zona influenţată termic

Cusăturile subţiri (până la 5 mm) se compun dintr-un singur rând. Tablele mai groase se sudează din mai multe rânduri sau straturi (fig. 5.20). Prin strat se subînţelege unul sau mai multe rânduri situate la acelaşi nivel.

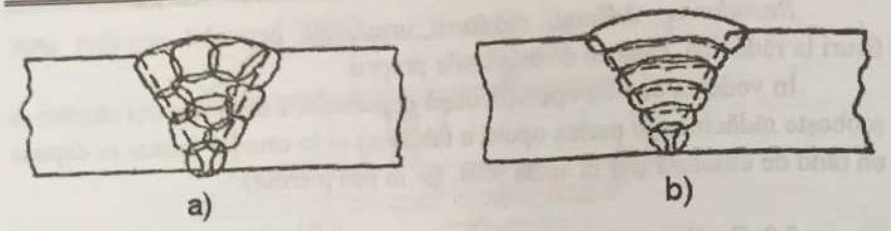


Fig. 5.20. Metodă de depunere a metalului: a – în rânduri; b – în straturi

Grosimea unui rând este aproximativ 0,8...1,2 din diametrul electrodului. La sudarea cusăturilor compuse din mai multe rânduri se pot intercala pauze mai scurte sau mai lungi între depunerea rândurilor consecutive. În primul caz, rândul depus anterior se răceşte parţial, iar în al doilea caz – total.

5.10. Regimuri de sudare

Prin *regim de sudare* se subînţelege totalitatea de factori ai procesului de sudare, care asigură arderea stabilă a arcului şi obţinerea cusăturilor sudate cu dimensiunile, forma şi calitatea stabilită (exactă). La sudarea electrică manuală cu electrozi înveliţi factorii regimului de sudare sunt: diametrul electrodului, puterea curentului de sudare, tensiunea arcului, felul şi polaritatea curentului, tipul şi marca electrodului, viteza sudării, poziţia cusăturii în spaţiu, încălzirea prealabilă şi tratamentele termice ulterioare.

Diametrul electrodului. La sudarea în poziţie orizontală a cusăturii diametrul electrodului se stabileşte în dependenţă de grosimea metalului de sudat (tabelul 5.7).

***Tabelul 5.7.** Stabilirea diametrului electrodului în dependenţă de grosimea materialului de sudat*

Grosimea materialului de sudat	*1,5*	*2,0*	*3,0*	*4...5*	*6...8*	*9...12*	*13...15*	*16...20*
Diametrul electrodului	1,6	2,0	3,0	3...4	4	4...5	5	5 şi mai sus

Sudarea cusăturilor orizontale, verticale şi peste cap indiferent de grosimea metalului de sudat se realizează cu electrozi de diametre mici (sub 4mm), fiindcă în acest caz mai simplu se poate preîntâmpina scurgerea

metalului lichid şi zgurii.

La sudarea în mai multe straturi pentru pătrunderea mai bună a rădăcinii cusăturii prima cusătură se sudează cu electrod cu diametru 3...4 mm, iar cusăturile următoare – cu electrozi de diametre mai mari. Suprafaţa tăieturii transversale a primului strat (trecere) nu trebuie să depăşească 30...35 mm^2. Aproximativ suprafaţa tăieturii transversale a primului strat de sudură poate fi calculată cu relaţia

$$F_1 = (6...8)\, d_e,$$

unde: F_1 – suprafaţa tăieturii transversale a primului strat (trecere), mm^2;

d_e – diametrul electrodului, mm.

Suprafaţa tăieturii transversale a următoarelor (treceri) straturi poate fi calculată cu relaţia:

$$F_u = (8...12)\, d_e,$$

unde F_u – suprafaţa tăieturilor transversale ale următoarelor straturi (treceri), mm^2.

Puterea curentului de sudare. Curentul electric se stabileşte în dependenţă de diametrul electrodului. Pentru sudarea în poziţia orizontală a cusăturii curentul poate fi aproximativ calculat cu relaţia:

$$I_s = K \cdot d_e,$$

unde: I_s – puterea curentului electric de sudare, A;

K – coeficientul de proporţionalitate, care depinde de tipul şi diametrul electrodului, A/mm.

Pentru sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon şi oţelurilor slab aliate coeficientul K este prezentat în tabelul 5.8.

***Tabelul 5.8.** Valoarea coeficientului de proporţionalitate*

Diametrul electrodului (d_l), mm	*1...2*	*3...4*	*5...6*
Coeficientul de proporţionalitate (K), A/mm	25...30	30...45	45...60

Puterea curentului electric stabilită în aşa fel se verifică cu executarea sudurii unui cordon (cusătură) de control, determinând adâncimea pătrunderii, lăţimea cusăturii şi stabilitatea de ardere a arcului. Dacă curentul electric de sudare a fost stabilit corect atunci adâncimea pătrunderii trebuie să constituie 1...4 mm, iar lăţimea cusăturii trebuie să se situeze în limitele:

$$l = (2...4)\, d_e,$$

unde: l – lăţimea cusăturii, mm.

Arcul trebuie să ardă stabil cu stropire de metal neînsemnată. La sudarea pe suprafaţă verticală curentul electric se micşorează cu 10...15%, iar la sudarea peste cap – cu 15...20% faţă de curentul stabilit pentru sudarea în poziţie orizontală.

5.11. Tipul şi marca electrodului

Tipul şi marca electrodului se alege în dependenţă de rezistenţa necesară a cusăturii sau din necesitatea transmiterii cusăturii proprietăţilor speciale. Pentru sudarea oţelurilor de construcţii, încărcarea şi sudarea oţelurilor înalt aliate tipul şi marca electrodului se alege conform GOST 9467-75, GOST 10051-75, GOST 10052-75.

Tensiunea arcului. Tensiunea arcului constituie 18...36 V şi se află în dependenţă directă de lungimea arcului. Sudarea trebuie realizată cu arc cât mai scurt, cu tensiune de 18...20 V. Lungimea arcului se poate aprecia după sunetul care se produce la ardere. Lungimea prea mare a arcului produce sunete ascuţite şi puternice, care se însoţesc de pocnituri şi stropi intensivi de metal topit.

Felul şi polaritatea curentului. Felul curentului şi polaritatea se stabilesc în dependenţă de materialul sudat şi grosimea componentelor de sudat. La sudarea în curent continuu cu polaritate inversă la electrod se elimină mai multă căldură. Din aceasta reiese că, polaritatea inversă se utilizează la sudarea tablelor (pieselor) subţiri, ca să nu fie străpunse (arse) şi la sudarea oţelurilor înalt aliate (ca să nu fie supraîncălzite). La sudarea oţelurilor carbon obişnuite se foloseşte curentul alternativ (mai puţin costisitor comparativ cu curentul continuu).

Viteza de sudare. Oţelurile înalt aliate, pentru evitarea supraîncălzirii lor, se sudează cu viteze mai mari decât oţelurile cu conţinut scăzut de carbon şi oţelurile slab aliate. Viteza de sudare se stabileşte de însuşi sudorul.

Poziţia cusăturii în spaţiu. Sudarea manuală se poate executa în toate poziţiile spaţiale ale cusăturilor. Însă trebuie de tins spre poziţia orizontală, ca cea mai comodă, care asigură calitatea cea mai bună a cusăturii sudate.

Preîncălzirea şi tratamentele termice ulterioare. Aceste operaţii se stabilesc la sudarea oţelurilor cu conţinut mediu şi ridicat de carbon şi la unele oţeluri înalt aliate cu tendinţe de formare a structurilor de călire.

Regimurile aproximative ale sudării manuale cu electrozi înveliţi de mărcile OZS – 6 şi Ă – 46T sunt prezentate în tabelul 5.9.

Tabelul 5.9. *Regimurile aproximative ale sudării manuale cu arc electric*

Diametrul vergelei electrodului, mm	*Puterea curentului de sudare pentru poziţia cusăturii, A*		
	Orizontală	*verticală şi orizontală*	*peste cap*
3	80...110	70...100	70...90
4	170...240	130...170	120...150
5	220...280	180...210	130...160
6	300..370	-	-
8	380...450	-	-

Învelişurile electrozilor asigură realizarea următoarelor funcţii:

- uşurarea procesului de amorsare a arcului prin scăderea tensiunii de ionizare a spaţiului arcului;
- stabilizarea arderii arcului electric;
- protecţia băii metalice topite faţă de acţiunea atmosferei atât prin gazele rezultate la topirea învelişului, cât şi prin zgura produsă;
- dezoxidarea băii topite;
- alierea metalului depus prin sudare;
- reducerea vitezei de răcire a sudurii, ca urmare a efectului stratului izolat de zgură;
- controlul profilului băii topite prin influenţarea tensiunii superficiale a acesteia (fig. 5.21);
- evitarea scurgerii materialului topit la sudarea în poziţie.

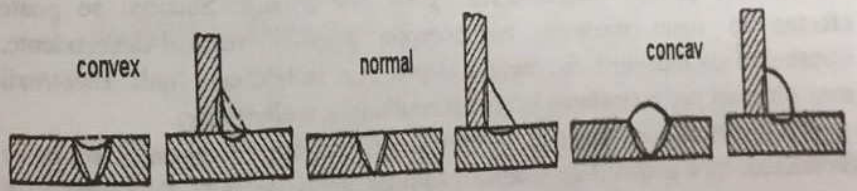


Fig. 5.21. *Efectul tensiunii superficiale a băii asupra profilului cusăturii*

Pe lângă efectele favorabile menţionate, învelişul electrozilor poate introduce în sudură şi elemente care influenţează negativ calitatea acesteia, ca de exemplu hidrogenul. Sursa principală de hidrogen este *umezeala.* Electrozii înveliţi se livrează la dimensiuni standardizate şi anume:

- diametrul vergelei metalice: 1,6; 2,0; 2,5; 3,25; 4,0; 5,0 şi 6,0 mm;
- lungimea vergelei: 200, 250, 300, 350, 450 mm (valorile subliniate fiind cele mai frecvent utilizate).

În funcţie de mărimea raportului dintre diametrul învelişului şi

diametrul vergelei, electrozii pot fi:

- cu înveliş subţire – raport sub 1,4;
- cu înveliş mediu – raport 1,4...1,55,
- cu înveliş foarte gros – peste 1,6.

În funcţie de compoziţia învelişului, electrozii pot fi de următoarele tipuri, conform EN 499:

- cu înveliş acid;
- cu înveliş rutilic;
- cu înveliş celulozic;
- cu înveliş bazic;
- cu înveliş dublu.

Electrozii cu înveliş acid (A) conţin oxizi de fier, carbonaţi, dezoxidanţi. Aceştia produc un material topit cu fluiditate înaltă şi reprezintă o rată de topire mare, fiind utilizaţi pentru sudare cu curenţi de intensitate ridicată. Folosind aceşti electrozi se obţin, de asemenea, pe lângă efecte economice favorabile, suduri cu suprafaţa plată, curată şi netedă. Transferul de metal se face prin picături foarte fine. Zgura este relativ vâscoasă şi se desprinde uşor. Au tendinţa de fisurare la cald şi de aceea se utilizează în măsură redusă numai la sudarea în poziţie.

Electrozii cu înveliş rutilic (*R*) au în înveliş, în primul rând oxizi de titan. Se deosebesc prin caracteristici foarte bune, fiind, ca urmare electrozii cei mai des utilizaţi. Transferul de material se face cu picături relativ mari, fără stropi. Zgura are vâscozitate înaltă şi protejează bine baia. Suprafaţa sudurii este netedă. Desprinderea zgurii este uşoară. Sudarea se poate efectua în toate poziţiile, cu excepţia poziţiei vertical-descendente. Conţinutul de hidrogen din metalul depus prin sudare este înalt. Electrozii sunt adecvaţi pentru sudarea în curent continuu sau alternativ.

Electrozii cu înveliş celulozic (*C*) conţin materiale organice (celuloza), care prin ardere produc o cantitate mare de gaze. Se sudează, în special, în poziţie vertical-descendentă, exclusiv în curent continuu. Zgura este subţire şi se solidifică rapid. Sudarea are pătrundere mare. Conţinutul de hidrogen din sudare este înalt. Aspectul sudurii este mai puţin estetic, cu solzi inegali.

Electrozii cu înveliş bazic (*B*) conţin fluorură şi carbonat de calciu. Zgura este fluidă, are un interval mic de solidificare şi acoperă bine baia. La răcire vâscozitatea zgurii creşte rapid. Zgura se desprinde mai greu, sudura are un aspect mai puţin estetic. Se sudează în curent continuu (polaritate inversă), mai rar în curent alternativ. Metalul depus se remarcă prin caracteristici mecanice înalte şi de aceea aceşti electrozi se utilizează în

cazurile când se impun cerinţe severe calităţii îmbinărilor sudate. Conţinutul de hidrogen în metalul depus poate fi redus prin păstrarea şi manipularea corespunzătoare a electrozilor. Electrozii cu înveliş bazic au afinitate la absorbţie de umiditate.

Electrozii cu înveliş dublu, de obicei bazic-rutilic (RB), combină calităţile celor două tipuri de învelişuri utilizate şi anume: comportarea bună la sudare, specifică învelişului rutilic, cu caracteristicile mecanice înalte, datorate învelişului bazic. Există, de asemenea, electrozi cu înveliş rutilic-celulozic (RC) şi rutilic-acid (RA).

În ultimul timp se confecţionează tipuri de electrozi speciali cu caracteristici de depunere a metalului înalte. Aceşti electrozi conţin în înveliş pulberi de fier sau alte pulberi metalice, ceea ce conduce la mărirea cantităţii de metal depus prin topirea lor. Întrucât învelişul acestor electrozi este bun conductor de electricitate amorsarea arcului electric se face la atingerea învelişului de piesă. Sudarea se face exclusiv în poziţie orizontală.

Eficienţa depunerii de metal la sudarea cu electrozi înveliţi se apreciază în mod uzual prin următoarele mărimi:

- randamentul nominal, R_N:

$$R_N = \frac{masa\ metalului\ depus}{masa\ vergelei\ consumate} \cdot 100\%;$$

- randamentul global, R_G:

$$R_G = \frac{masa\ metalului\ depus}{masa\ electrodului\ consumat} \cdot 100\%;$$

- coeficientul de depunere, D:

$$D = \frac{masa\ metalului\ depus}{curentul\ de\ sudare \times\ timpul\ de\ depunere}, \frac{g}{A \cdot s}.$$

Randamentul nominal are valori de 75...90%. La electrozi cu pulbere de fier în înveliş randamentul nominal poate ajunge la valori de 100...200% ca urmare a alierii suplimentare a metalului cusăturii prin înveliş.

Electrozii înveliţi se livrează în cutii de carton, ambalaţi în pungi din material plastic, sudate sau în cutii metalice. Ei trebuie păstraţi în încăperi cu umiditatea relativă sub 70% (electrozi nebazici), respectiv 40% (electrozi bazici) şi cu temperatură constantă. O depozitare necorespunzătoare a electrozilor poate conduce la absorbţia umezelii în înveliş şi ca urmare, la creşterea conţinutului de hidrogen în metalul depus.

Durata maximă de păstrare a electrozilor este limitată în timp. Ea depinde de tipul electrozilor, valoarea ei urmând a fi stabilită prin consultarea furnizorului.

Înainte de utilizare electrozii înveliţi trebuie uscaţi, la o temperatură recomandată de producător sau dacă lipsesc prescripţiile, la temperaturi de: electrozi titanici – 120...150° C; electrozii bazici – 200...400° C. Durata de menţinere la această temperatură este de 1...2 h. Cu rare excepţii este interzisă uscarea electrozilor cu înveliş celulozic.

Unele firme ambalează electrozii înveliţi în tuburi etanşe metalice (fig. 5.22).

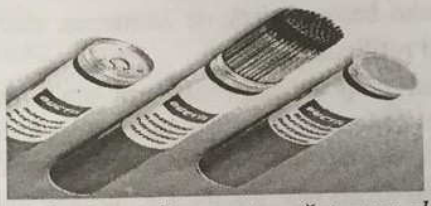


Fig. 5.22. *Tuburi metalice pentru păstrarea electrozilor*

Protecţie. Ambalarea în tuburi metalice etanşe permite depozitarea în orice mediu cu umiditate atmosferică ridicată ceea ce oferă următoarele avantaje:

- elimină necesitatea calcinării. După deschiderea tubului electrozii păstrând caracteristicile prezente la ambalare;
- capacul din plastic antirostogolire, furnizat cu tubul, protejează electrozii rămaşi în tub după deschiderea acestuia.

Funcţionalitate. Ambalarea individuală se realizează în tuburi produse din aluminiu 99,5% (fără sudură) cu diametrul de 74 mm. Tubul este sigilat cu folie de aluminiu uşor de îndepărtat. Tuburile din aluminiu sunt ambalate în cutii colectoare din carton micro-ondulat cu secţiunea 75 x 225 mm. Fiecare cutie colectoare conţine trei tuburi. Acest sistem de ambalare asigură o înaltă funcţionalitate pentru manipulare şi depozitare.

5.12. Sudarea orizontală

Sudarea îmbinărilor cap la cap. Cusăturile îmbinărilor cap la cap fără teşirea muchiilor se realizează dintr-o parte cu electrozi înveliţi cu diametrul egal cu grosimea tablelor de sudat, dacă ea nu depăşeşte 4mm. Puterea curentului se alege în dependenţă de diametrul electrodului, felul şi grosimea învelişului (tabelul 5.10).

Tablele fără rosturi (fără teşirea muchiilor) cu grosimea de la 4 până la 10 mm se sudează din două părţi. Poziţiile şi oscilaţiile transversale ale electrodului sunt prezentate în figura 5.23.

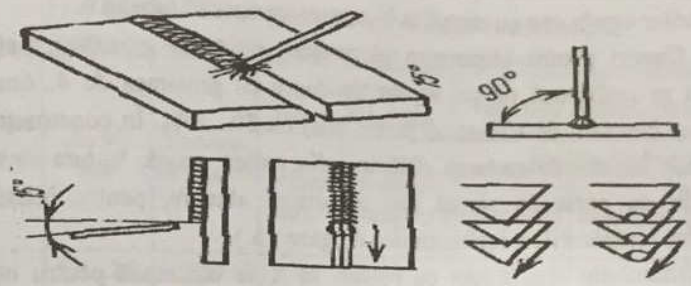


Fig. 5.23. *Poziţiile şi oscilaţiile transversale ale electrodului la sudarea cusăturilor cap la cap cu prelucrarea muchiilor*

Unghiul optimal al rostului cusăturii se stabileşte din următoarele considerente. Unghiul mare al rostului (80..90°) asigură comoditate sudorului, micşorează pericolul de sudură nepătrunsă la rădăcină, dar măreşte volumul metalului topit şi ca consecinţă scade productivitatea şi măreşte deformarea îmbinării sudate. Pentru procesul de sudare manuală cu arc electric unghiul optimal al rostului este de 60°. El poate fi mărit până la 65° pentru table subţiri şi micşorat până la 55° pentru table cu grosimea mai mare de 15 mm.

Jocul dintre componentele sudate sau muchiile prelucrate constituie de la 1,5 până la 4 mm în dependenţă de grosimea tablelor, regimul sudării şi caracterul construcţiei sudate.

Cel mai dificil la sudare este obţinerea pătrunderii complete la rădăcina sudurii. Aici cel mai frecvent apar deferite defecte: nepătrundere, incluziuni de gaze şi de zgură. De aceea, când este posibil trebuie să sudăm rădăcina din partea opusă a tablei.

Metalul cu grosimea de la 4 până la 8 mm se sudează cu cusătură dintr-un strat (o trecere). Cusăturile dintr-un strat cu rostul în V se realizează cu oscilaţia transversală a capătului electrodului în forma de triunghi fără menţinerea la rădăcina cusăturii (pentru table cu grosimea de 4 mm) şi cu menţinere la rădăcina cusăturii (vezi figura 5.23). Tablele cu grosimea 12 mm şi mai mare se sudează cap la cap cu prelucrarea ambelor muchii (rost în X) cu cusătură din mai multe treceri sau mai multe straturi. Cusătura multistrat se realizează mai repede decât cusătura din mai multe treceri. Cusătura din mai multe treceri se realizează cu depuneri subţiri şi înguste fără oscilaţia capătului electrodului. Se utilizează electrozi cu diametrul 1,6...4 mm. Regimurile sudării cu arc electric şi electrozi înveliţi a

îmbinărilor cap la cap cu rostul în V sunt prezentate în tabelul 5.11.

Uneori pentru asigurarea pătrunderii pe toată grosimea metalului sudarea se realizează pe un suport de cupru cu grosimea de 4...6mm. În acest caz curentul de sudare se poate mări cu 20...30%. În construcţiile de rezistenţă, înainte de sudarea rădăcinii din partea opusă, sudura se curăţă preventiv cu peria de sârmă sau cu discul abraziv, pentru înlăturarea defectelor (crăpăturilor, incluziunilor de gaze ş.a.).

Îmbinările cap la cap cu rosturi în X se utilizează pentru oţel cu grosimea de la 12 pînă la 40 mm. Pregătirea rostului, unghiul rostului, mărimea jocului, tehnica de realizare a cusăturilor în acest caz este aceiaşi ca şi la sudarea tablelor cu rostul în V.

Pentru ca metalul fiecărui din straturile inferioare să se încălzească satisfăcător, grosimea straturilor trebuie să fie nu mai mare de 5 mm şi nu mai mică de 2 mm.

Tabelul 5.10. *Valoarea medie a puterii curentului în raport cu diametrul electrodului, felul şi grosimea învelişului*

Grosimea tablei, mm	*Cusătura*	*Jocul, mm*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea medie a puterii curentului, A*	
				Poziţia cusăturii	
				orizontală	*verticală şi peste cap*
3...4	dintr-o parte	1,0	3...4	180	160
5...6	din două părţi	1,0...1,5	4...5	180...260	160...230
7...8	din două părţi	1,5...2,0	5	260	230
9...10	din două părţi	2,0	6	330	290

De exemplu, pentru realizarea cusăturilor sudate cu rostul în X la grosimea tablelor de 12 mm, trebuie de depus 4...6 straturi, iar pentru grosimea de 40 mm – 10...16 straturi.

Cusăturile tablelor îmbinate cap la cap cu grosimea mai mare de 20 mm este raţional de realizat cu un rost curbiliniu (sudare în formă de "U"). Aşa pregătire a rostului permite utilizarea electrozilor cu diametrul mai mare, asigură pătrunderea sigură şi contracţia uniformă a metalului cusăturii.

Tabelul 5.11. *Regimurile aproximative ale sudării îmbinărilor cap la cap cu rostul în V*

Grosimea metalului, mm	*Jocul, mm*	*Numărul de treceri*	*Diametrul electrodului, mm*		*Valoarea medie a puterii, A*		
					Poziţia cusăturii		
			primul strat	*straturile următoare*	*orizontală*	*verticală*	*verticală şi peste cap*
10	1,5...2,0	2	4	5	180...260	160...220	150...210
12	2,0...2,5	3	4	5	180...260	160...220	150...210
14	2,5...3,0	4	4	5	180...260	160...220	150...210
16	3,0...3,5	5	4	5	180...260	160...220	150...210
18	3,5...4,0	6	5	6	220...320	200...300	180...280

Cusăturile (cu rostul în X) simetrice au următoarele priorităţi faţă de cusăturile asimetrice (cu rostul în V):

- micşorarea volumului de metal topit (de 1,6...1,7 ori) şi ca consecinţă, avansarea productivităţii sudării;
- micşorarea deformării pieselor;
- nepătrunderea (dacă ea există) în rădăcina cusăturii este instalată în secţiunea neutră şi de aceea este mai puţin periculoasă.

Pentru micşorarea exfolierii fabricatului sudat se recomandă de realizat cusăturile alternative dintr-o parte şi din altă parte a tablei. Pentru sudarea în poziţie orizontală este necesară întoarcerea de mai multe ori a componentelor sudate. În acest caz este raţional de instalat piesele de sudat vertical şi de realizat sudarea din două părţi. Lucrul în această situaţie este realizat de doi sudori (muncitori).

Sudarea îmbinărilor în colţ, în „T" şi prin suprapunere se poate realiza într-un strat sau în mai multe straturi (sudarea într-un strat se realizează pentru cusături cu cateta sub 10 mm). Aceste îmbinări pot fi executate fără oscilaţia transversală a capătului electrodului. Oscilaţia capătului electrodului se realizează atunci, când este necesar de obţinut o cusătură cu cateta mare.

La sudarea acestor îmbinări este posibilă formarea nepătrunderii unei părţi şi de asemenea sudurii incomplete a uneia din muchii. Îmbinările în colţ, în „T" şi prin suprapunere se sudează în poziţie *„în jgheab"* (fig. 5.24, a).

La sudarea în unghi (fig. 5.24, b) sau cu topirea muchiei superioare

(fig. 5.24, c) procesul de sudare se realizează cu sau fără înclinarea electrodului.

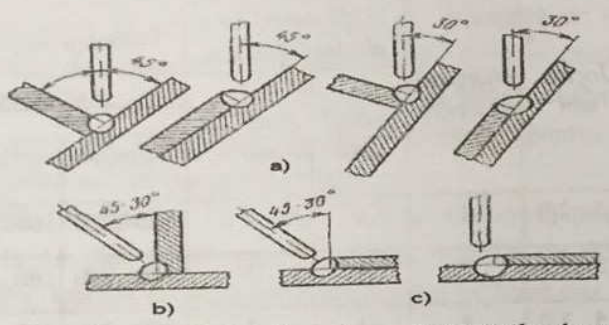


Fig. 5.24. Scheme ale procedeelor de sudare a îmbinărilor în colţ, în „T" şi prin suprapunere: a – în jgheab; b – în unghi; c – cu topirea muchiei superioare

5.13. Particularităţile sudării cusăturilor verticale, orizontale, pe perete vertical şi peste cap

Cusăturile verticale se sudează prin două metode: din jos în sus şi din sus în jos. Cusăturile verticale (cap la cap şi în „T") de jos în sus se execută în următoarea ordine. Prealabil se pregăteşte cu sudura un platou (suport) orizontal egal cu tăietura transversală a metalului cusăturii. Platoul se formează prin mişcările transversale ale capătului electrodului în triunghi (fig. 5.25). Pătrunderea în rădăcina cusăturii se asigură prin menţinerea arderii arcului (în zona rădăcinii) cu mişcarea capătului electrodului în triunghi. Pătrunderea superioară în rădăcina sudurii se asigură când electrodul este perpendicular axei verticale. Scurgerea metalului topit se poate evita prin înclinarea electrodului în jos, precum este arătat punctat în figura 5.25, a, b.

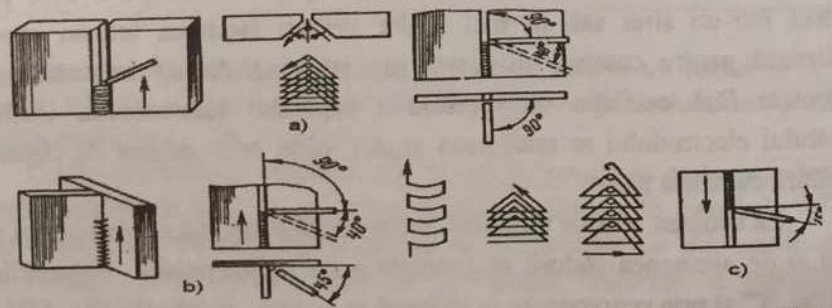


Fig. 5.25. Scheme ale poziţiilor electrozilor şi oscilaţiilor lor la sudarea: a – cap la cap; b – în unghi; c – de sus în jos

Sudarea cusăturilor verticale cu electrozi de diametre mari şi putere mare a curentului este dificilă din cauza scurgerii metalului şi formarea neîndestulătoare a cusăturii. De aceea se utilizează electrozi cu diametrul până la 4 mm, iar puterea curentului electric se micşorează comparativ cu sudarea orizontală.

Sudarea verticală de sus în jos (fig. 5.25, c) este posibilă cu electrozi care formează un strat de zgură. Metalul în baia de sudură se solidifică mai rapid şi scurgerea lui practic nu există. Pentru sudarea verticală se folosesc electrozi cu învelişuri celulozice, de mase plastice de origine organică. Productivitatea sudării de sus în jos este mai mare decât a sudării de jos în sus.

Cusăturile orizontale pe perete vertical şi cusăturile pese cap sunt mai complicat de realizat decât cusăturile verticale (fig. 5.26). La executarea cusăturilor orizontale pe tabla superioară deseori se ivesc tăieturi, iar la sudarea peste cap este dificilă pătrunderea la rădăcina cusăturii. În ambele cazuri sudarea trebuie să fie realizată cu arc scurt cu oscilaţii rapide a capătului electrodului. Metalul cu grosimea mai mare de 8 mm se sudează din mai multe treceri.

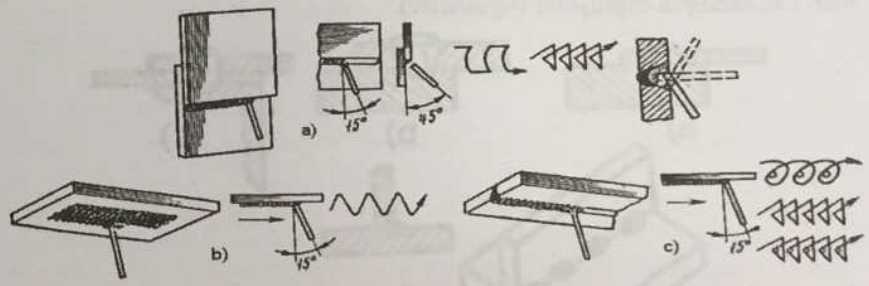


Fig. 5.26. Scheme ale poziţiilor şi oscilaţiilor electrozilor la sudarea orizontală pe perete vertical şi peste cap (de plafon): a – cusături orizontale pe perete vertical; b – încărcarea pe perete vertical; c – cusături peste cap (pe plafon)

Primul rând la rădăcina cusăturii orizontale se depune cu electrod de diametrul 4 mm, iar următoarele straturi – cu electrozi de diametrul 5 mm. Primul rând la rădăcina cusăturii peste cap se depune cu electrod de diametrul 3 mm, iar următoarele rânduri - cu diametrul 4 mm.

La realizarea cusăturilor peste cap, gazele care se formează la sudare cu electrozi înveliţi, se ridică în sus şi pot rămâne în cusătură. De aceea la sudarea în poziţie peste cap (pe plafon) trebuie de folosit electrozi bine uscaţi, care produc zgură minimală.

5.14. Sudarea tablelor subţiri

La sudarea tablelor de oţel cu grosimea mai mică de 3 mm trebuie de introdus în piesă o anumită cantitate de căldură la o unitate de lungime a cusăturii, din considerente ca pe toată lungimea cusăturii să fie o pătrundere uniformă. Cusăturile se depun cu electrozi de diametrul 1...3 mm fără oscilaţii transversale. Înaintarea axială a electrodului trebuie realizată cu viteze deopotrivă (egale).

Pentru îmbinarea tablelor subţiri pe larg se utilizează sudarea cu microplasmă şi arc electric pulsant în gaz inert de protecţie, care permite sudarea tablelor cu grosimea de 0,1...2 mm.

Tablele subţiri se pot suda de asemenea cu electrod din cărbune în curent continuu şi polaritate directă pe capetele bordurate cu regimurile: diametrul electrodului – 6...10 mm; puterea curentului – 120...160 A; viteza de sudare – 50...70 m/h.

Sudarea în gaură (cu electronituri). Sudarea în puncte realizată cu arc electric şi electrod fuzibil sau nefuzibil se numeşte *electronituire* (fig. 5.27). Sudarea cu electronituri are o răspândire largă în industrie datorită productivităţii avansate şi simplităţii de montare a construcţiilor cu gabarite mari (de exemplu căptuşeala vagoanelor).

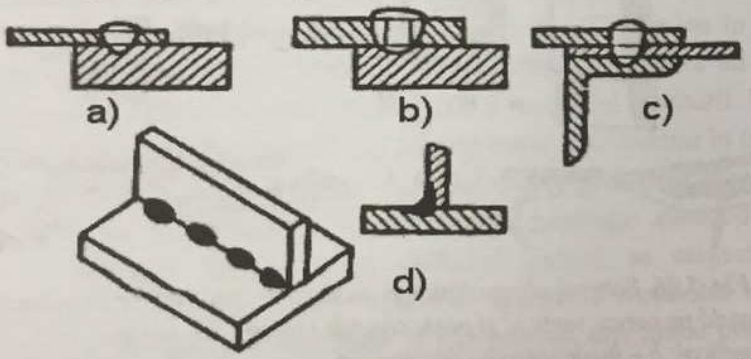


Fig. 5.27. *Îmbinări cu electronituri: a – fără gaură în tabla superioară; b – cu gaură străpunsă prealabil în tabla superioară; c – sudarea a două table cu element profilat; d – îmbinarea în „T"*

Sudarea cu electronituri se utilizează pentru îmbinările tablelor subţiri cu rame din diferite profile, când din cauza dimensiunilor mari ale construcţiei este dificilă utilizarea sudurii în puncte prin contact, pentru realizarea îmbinărilor mai multor table (pachete), pentru sudarea prizoanelor pe table ş. a.

Sudarea cu electronituri deseori se realizează cu electrozi fuzibili sub strat de flux.

Sudarea se realizează cu străpungerea piesei superioare sau prin alte metode. Este mai economic de utilizat sudarea cu electronituri fără executarea găurii în tabla superioară.

Este posibilă realizarea sudării cu electronituri cu electrod de oţel sub strat de flux cu topirea (străpungerea) tablei superioare cu grosimea până la 12 mm. Aceasta se atinge la folosirea puterii curentului electric de 4500...5000 A şi sârmei electrod cu diametrul de 14...16 mm.

Însă sudarea tablelor cu grosimea mai mare de 2 mm fără străpungerea găurilor în tabla superioară nu este raţională, fiindcă utilizarea curenţilor mari şi electrozilor de diametre avansate conduc la formarea capurilor mari ale niturilor la diametre mici ale tijelor lor.

Necesitatea de burghiere sau străpungere a găurilor în elementul superior cu grosimea mai mare de 2 mm limitează arealul de utilizare a cusăturilor cu electronituri.

Sudarea prin electronituire cu electrozi nefuzibili, permite obţinerea cusăturilor cu pătrundere mai mare decât sudura cu electrod fuzibil. Cu electrodul nefuzibil din grafit se pot suda tablele cu grosimea mai mare de 6mm (fiecare tablă) cu curent continuu 400...700 A.

Capitolul 6
PROCESE METALURGICE LA SUDARE

6.1. Particularităţile metalurgice ale sudării

Sudarea prin topire prezintă un proces mai complicat decât procesele metalurgice, care se petrec la executarea pieselor turnate.

Particularităţile caracteristice ale sudării oţelurilor sunt următoarele:

1. Temperatura înaltă de încălzire. La sudarea cu arc electric temperatura băii de sudare constituie 2300° C (în cuptorul Siemens-Martin atinge 1700° C).

2. Volumul mic de metal topit în baia de sudare. La sudarea manuală cu electrozi înveliţi ea atinge 2 cm^3.

3. Procesul este de scurtă durată. Timpul de la începutul topirii până la solidificarea băii de sudare constituie câteva secunde. Răcirea se realizează cu viteza de 5...15 °/s.

Temperatura înaltă în zona de sudare conduce la topirea rapidă a metalului electrodului, învelişului şi de asemenea a metalului componentelor sudate. Moleculele de oxigen, azot, hidrogen din mediul ambiant, care se găsesc în zona arcului, parţial se descompun în atomi şi ioni. În stare atomică aceste elemente posedă activitate înaltă, intră în reacţii chimice cu elementele băii oţelului topit şi se dizolvă în ea, realizând după topire metal fragil. Temperatura înaltă la sudare conduce de asemenea la evaporarea, arderea şi împrăştierea metalului şi a altor substanţe din zona sudării.

Volumul mic al metalului în baia de sudare şi metalul de bază relativ rece conduce la evacuarea rapidă a căldurii din zona băii topite. Datorită acestui fapt reacţiile chimice dintre metalul topit şi zgură trec într-un timp foarte limitat, nedovedind complet să se termine şi neformând echilibru.

Solidificarea şi cristalizarea rapidă a metalului cusăturii influenţează structura şi proprietăţile mecanice ale metalului cusăturii şi metalului componentelor sudate. Componenţa chimică, structura şi proprietăţile mecanice ale metalului cusăturii depind nu numai de compoziţia metalului de adaos şi de metalul componentelor sudate, dar într-o măsură mare şi de caracterul şi intensitatea reacţiilor chimice în timpul sudării. De aceea la determinarea proprietăţilor şi rezistenţei metalului cusăturii şi de asemenea proprietăţilor şi particularităţilor îmbinărilor sudate este necesar de luat în consideraţie particularităţile sus menţionate ale procesului de sudare.

Cristalizarea metalului cusăturii. Cristalizarea metalului lichid la răcire se începe de la granulele metalului de bază care sunt topite incomplet, aflate la marginea băii lichide. La reţeaua metalică care este incomplet solidificată se plasează atomii fazei care se cristalizează. După solidificarea

metalului cusăturii (cristalizare) pe porţiunile topite se creează granule, care constau parţial din metal de bază şi metal de adaos (electrozi, sârmă). Aceste metale asigură în îmbinarea sudată o legătură metalică continuă „*metal de bază – cusătură – metal de bază*". La deplasarea arcului de sudare în lungul muchiilor metalului de bază în faţa (partea de dinainte) băii se realizează procesul de topire, iar în spate (în urma electrodului) – procesul de cristalizare. În aşa fel se realizează formarea cusăturii sudate.

Disocierea gazelor simple şi complexe. Din cauza ciocnirilor şi loviturilor (electronilor) în zona temperaturii înalte a arcului de sudare se realizează descompunerea moleculelor gazului în atomi. Hidrogenul, oxigenul şi azotul se descompun în atomi după relaţiile:

$$H_2 \leftrightarrow 2H; \quad O_2 \leftrightarrow 2O; \quad N_2 \leftrightarrow 2N.$$

Atomii oxigenului, azotului şi hidrogenului sunt foarte activi şi se dizolvă intensiv în metal, înrăutăţind proprietăţile lui: micşorează plasticitatea şi măresc fragilitatea. În componenţa multor fluxuri şi învelişurilor electrozilor deseori se introduce fluorură de calciu (CaF_2), care se descompune la temperatură înaltă şi elimină fluor ($CaF_2 \rightarrow CaF + F$). Fluorul înrăutăţeşte condiţiile de ardere a arcului electric. Fluorul disociat are un rol pozitiv în procesul metalurgic al băii de sudare: el formează cu hidrogenul molecule foarte stabile, curăţind metalul de hidrogen:

$$CaF_2 + H \rightarrow CaF + HF.$$

Unele învelişuri şi fluxuri au în componenţa sa carbonat de calciu $CaCO_3$, care descompunându-se elimină gaz carbonat

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow.$$

Cu avansarea temperaturii paralel cu descompunerea unei cantităţi mari de carbonat de calciu care formează bioxidul de carbon: $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$.

6.2. Metalurgia sudării electrice manuale

Electrodul este compus din înveliş şi vergea de metal. În componenţa învelişului şi vergelei se introduc componente, care asigură în procesul sudării prelucrarea metalurgică necesară a băii de sudură. Învelişurile electrozilor în timpul arderii arcului electric între electrod şi piesă protejează zona sudurii de oxigenul şi azotul din aer, dezoxidează şi aliază metalul topit al băii de sudură, creează stabilitate descărcării arcului electric şi asigură proprietăţile stabilite ale cusăturii sudate şi de asemenea structura necesară a metalului şi compoziţia chimică necesară a cusăturii sudate.

Protecţia zonei de sudură de influenţa oxigenului şi azotului din atmosferă se realizează cu zgură, cu gaze şi combinată (cu zgură şi gaze).

În învelişurile electrozilor actuali se utilizează mai des protecţia cu zgură şi gaze. Învelişurile electrozilor trebuie să aibă un interval stabilit de solidificare, care la rândul său determină posibilitatea de utilizare a

electrozilor în diferite poziţii. În dependenţă de modul de protejare a băii de sudură, înfăşurările electrozilor se împart în acide, rutilic, celulozice, bazice, duble.

În înfăşurările acide ca zgură de protecţie se utilizează oxizii de fier, mangan, titan şi siliciu.

Protecţia generală a zonei arcului se realizează de componentele organice (de exemplu de amidon). De aceea la sudarea cu electrozi, cu înveliş acid, se realizează eliminarea activă a gazelor CO, H_2, CO_2, H_2O, care asigură protejarea de azot a metalului băii de sudură.

Conţinutul ridicat de ghematit (Fe_2O_3) al învelişului electrozilor necesită o cantitate mare de dezoxidanţi în formă de fieromangan. La topirea învelişului electrodului ghematitul formează cu fierul oxizi de fier (FeO):

$$Fe_2O_3 + Fe \rightarrow 3FeO.$$

De aceea pentru neutralizarea oxizilor de fier, care se pot uşor dizolva în metalul topit se introduce fieromangan.

Electrozii cu înveliş bazic conţin fluorură de calciu (CaF_2) şi carbonat de calciu ($CaCO_3$). Protecţia gazoasă în acest caz o asigură disociaţia carbonatului de calciu. Ca dezoxidanţi în electrozii cu înveliş bazic se folosesc fieromanganul, fierotitanul, fierosiliciul. În timpul topirii carbonatul de calciu se descompune în oxid de calciu (CaO) şi bioxid de carbon (CO_2):

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow.$$

Elementele dezoxidante reacţionează cu bioxidul de carbon (CO_2) şi-l transformă în oxid de carbon (II) (CO), însă o parte din bioxid de carbon (CO_2) rămâne în baia de sudură. De aceea faza gazoasă a acestor electrozi faţă de metalul lichid al băii este oxidantă pe tot intervalul de temperaturi al sudării. Conţinutul de FeO în zgura acestui înveliş este neînsemnat, de aceea zgura nu exercită acţiune oxidantă asupra metalului topit al băii de sudură. Existenţa în înveliş a dezoxidanţilor (titan, siliciu, mangan iar uneori şi a aluminiului) asigură concentrarea neînsemnată a oxigenului în metalul topit, iar prezenţa în înveliş a fluorurii de calciu (CaF_2) asigură înlăturarea hidrogenului din metalul topit al băii de sudură. Însă datorită posibilităţii reducătoare înalte a învelişului solubilitatea hidrogenului în baie rămâne înaltă. De aceea la sudarea pe muchii cu coroziuni, şi învelişuri umede ale electrozilor în cusăturile sudate se formează porozităţi. Manganul din înveliş intră în reacţie cu sulful, transformându-se în sulfură de mangan. Prin aceasta se evită apariţia crăpăturilor în cusătura sudată cu electrozi cu înveliş bazic.

Învelişurile rutilice sînt create pe baza rutilului (TiO_2) şi au în componenţa sa feldspat, magnezit ş.a. Protecţia gazoasă se asigură de către substanţe organice (celuloză ş.a.) şi carbonaţi. Ca reducător în aceste învelişuri serveşte fieromanganul. La sudarea cu electrozi rutilici la etapa de

încălzire iniţială se realizează descompunerea componentelor organice şi disocierea carbonaţilor, de exemplu, a magnezitului

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2\uparrow,$$

şi ca consecinţă în faza gazoasă se conţine CO_2, CO şi O_2.

Ca rezultat al prezenţei CO_2, CO şi O_2, concentraţia hidrogenului este mai scăzută decât în electrozii cu înveliş bazic, ce permite avansarea nivelului de dezoxidare a metalului cusăturii în schimbul avansării conţinutului de siliciu. Cea mai mare parte de magneziu în procesul sudării se evaporă sau se oxidează.

Electrozii cu înveliş celulozic (înveliş de protecţie gazoasă) au în componenţa sa până la 50% de componente organice formatoare de gaze (celuloza ş.a.), care formează în procesul arderii, cantităţi considerabile de CO şi H_2. Pentru evitarea saturaţiei metalului topit al băii de sudură cu hidrogen şi preîntâmpinarea vaporizării se ridică nivelul de oxidare a băii de sudură prin introducerea în înveliş a concentratului de titan ($TiO_2 \cdot FeO$), oxidului de mangan (II) (MnO) şi a feldspatului (CaF_2). Feldspatul leagă hidrogenul într-o îmbinare (HF) fluorură de hidrogen insolubilă în metalul topit. Pentru evitarea porozităţii, legate de eliminarea oxidului de carbon (II) (CO) în timpul cristalizării băii de sudură, în înveliş se introduce fierosiliciu, care împiedică formarea oxidului de carbon.

La alegerea electrozilor pentru sudarea metalelor este necesar de luat în consideraţie următoarele particularităţi:

1) marca materialului componentelor de sudat;
2) cerinţele impuse de către îmbinările sudate compoziţiei chimice, structurii, proprietăţilor mecanice;
3) aplicabilitatea tehnologică a mărcii corespunzătoare a electrozilor.

6.3. Structura zonei influenţate termic a oţelurilor carbon

O importanţă majoră pentru rezistenţa mecanică a îmbinării sudate o constituie schimbările structurale, care se produc în zona metalului de bază sub acţiunea căldurii arcului. Această zonă de lângă baia de sudură se numeşte zona de influenţă termică (ZIT).

Dacă oţelul este în stare normală atunci în ZIT se disting următoarele părţi (fig. 6.1, a): între cusătura *1* şi mediul de bază apare o fâşie îngustă *2*, care formează trecerea de la cusătură la metalul de bază. După aceasta apare o regiune cu granule mari, care corespunde încălzirii înalte în câmpul austenitic. Pe măsură ce temperatura se apropie de linia transformării (diagrama Fe - C) granulele devin tot mai fine şi apare fâşia normalizată *4*. Partea din metalul de bază aflată la temperaturi între AB şi Ar1 corespunde unor transformări parţiale *5*. În continuare urmează metalul de bază *6* care nu a fost afectat de (căldură) sudură.

În cazul oţelurilor, care au fost deformate plastic sub temperaturile

ce aparţin liniei Ar1 au loc recristalizări, care provoacă o creştere a granulelor *6* (fig. 6.1, b), urmând apoi metalul de bază *7* neafectat de sudură. Metalul de bază în jurul cusăturii suferă transformări structurale din cauza influenţei termice.

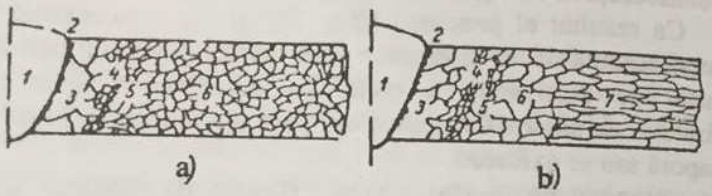


***Fig. 6.1.** Structura ZIT pentru oţeluri carbon*

La studierea metalului cusăturii sudate deosebim macrostructura şi microstructura. *Macrostructura* se vizionează cu ochiul liber sau cu amplificarea de 10...15 ori. Structura metalului mărită de 60...100 de ori se numeşte *microstructură.* Macro – şi microstructura poate fi primară sau secundară. *Structura primară* se formează nemijlocit în procesul de solidificare a topiturii. *Structura secundară* se formează ca rezultat al transformărilor fazice. Cusăturile sudate posedă un complex de structuri ale topiturii şi metalului, care în procesul de sudare au fost supuse încălzirii. Prezentăm unele sectoare de straturi ale cusăturii sudate în figura 6.2.

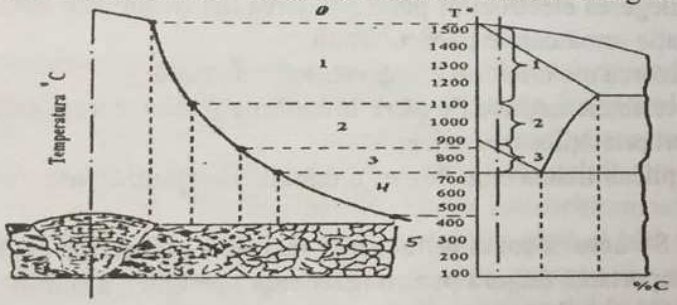


***Fig. 6.2.** Structura zonei de influenţă termică în funcţie de temperatura de încălzire: 0 – metalul topit; 1 – sectorul preîncălzit; 2 – sectorul de normalizare; 3 – sectorul de recristalizare incompletă; 4 – sectorul de recristalizare completă; 5 – sectorul de fragilitate la albastru*

Sectorul metalului topit (*0*) a cusăturii are o structură de coloană. Cristalele în formă de coloană de la zona de trecere dintre sectoarele de topire incompletă şi metalului topit sunt îndreptate în interiorul cusăturii. Cristalul constă din dendrite cu direcţionarea comună, care uneori au şi diferite bifurcaţii. O grupă de dendrite, care au o limită (hotar) clară constituie un cristalit coloană. Structura primară se caracterizează prin neuniformitate chimică. Structura secundară prezintă o zonă cu aşezarea liniară a spirelor.

În *sectorul supraîncălzit al cusăturii* (*1*) se poate forma o structură macrogranulară, care transmite metalului plasticitate avansată şi rezilienţă. Pentru micşorarea lungimii sectorului supraîncălzit trebuie de mărit viteza de sudare sau de realizat sudarea din câteva treceri. Lăţimea zonei sectorului variază de la 0,2 până la 4 mm.

Sectorul de normalizare a cusăturii (*3*) se caracterizează prin structura microgranulară a metalului. În dependenţă de dimensiunile cusăturilor lăţimea acestei zone variază de la 0,2 până la 5 mm.

În *sectorul de recristalizare completă* (4) la sudură apar deformări plastice a metalului. Lăţimea acestui sector variază de la 0,1 până la 1,5 mm.

Sectorul de fragilitate la albastru (*5*). Structura metalului în acest sector nu se deosebeşte de structura iniţială. Temperatura în acest sector variază de la 200 până la 400°C.

Cauzele apariţiei crăpăturilor (fisurilor) la cald şi la rece. În procesul sudării deseori apar fisuri. Fisurile la cald se formează în învoielile temperaturilor avansate din cauza modificărilor componenţei materialelor sudate. Înclinaţie avansată spre fisurare la cald posedă aliajele care conţin la 5% crom şi de la 0,1 până la 2,5% de carbon şi aliajele cu conţinut de 9...10% de crom şi 0,9...1,2% de carbon.

Fisurile la rece se formează în metalul cusăturii şi în zona de lângă cusătură din cauza schimbării bruşte a particularităţilor mecanice şi de asemenea caracterului stării de tensiune ca consecinţă a transformărilor structurale şi de faze. La formarea fisurilor la rece la sudarea oţelurilor un rol important îl are hidrogenul, care se elimină din soluţia solidă din microvolumele metalului. Hidrogenul atomic eliminat se îmbină în molecule şi creează în volumele vecine de metal presiune interioară, care formează tensiuni considerabile care provoacă fisuri (crăpături).

6.4. Oxidul de carbon (IV) (bioxidul de carbon)

În componenţa fazei gazoase a zonei arcului bioxiul de carbon CO_2 este prezent în cantităţi considerabile. Aceasta se evidenţiază mai ales la sudarea cu electrozi cu înveliş de marmură şi fluorină (CaF_2). În procesul topirii acestui înveliş se realizează disocierea carbonatului de calciu cu formarea bioxidului de carbon.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow.$$

Bioxidul de carbon oxidează activ baia de metal.

$$CO_2 \rightarrow CO + \tfrac{1}{2}O_2$$
$$Fe + \tfrac{1}{2}O_2 \rightarrow [FeO]$$
$$CO_2 + Fe \rightarrow [FeO] + CO,$$

unde: $[FeO]$ – protoxid de fier, dizolvat în fier.

Bioxidul de carbon format CO_2 în metalul cusăturii nu se dizolvă, iar în procesul cristalizării băii de sudare el se separă şi creează pori. Bioxidul de carbon poate fi utilizat pentru protejarea zonei de sudare de acţionarea aerului, dacă în compoziţia sârmei se introduce mangan şi siliciu, care

neutralizează reacţia de formare a oxidului de carbon (II) CO.

Vaporii de apă din faza gazoasă se formează din umiditatea învelişului şi fluxului, umiditatea ruginii care este pe suprafeţele muchiilor pieselor sudate şi de asemenea ca consecinţă a reacţiilor, care decurg în învelişul electrodului şi faza gazoasă.

Vaporii de apă cu metalul lichid reacţionează după formula: $H_2O + Fe \rightarrow [FeO] + H_2$.

La sudarea electrică prin topire faza gazoasă a zonei arcului, care contactează cu metalul lichid, constă din amestec de CO_2, CO, H_2O, H_2, O_2, N_2 produse a disocierii lor (O, H, N, OH) şi vapori de metal şi zgură. Oxigenul din baia de sudură, creează cu fierul oxizi de fier FeO, care dizolvându-se în baia topită diminuează proprietăţile de rezistenţă a metalului cusăturii. Hidrogenul rămas în metalul topit în final conduce la crearea crăpăturilor. Azotul înlesneşte îmbătrânirea cusăturii, crearea de porozităţi în cusătură şi micşorează capacităţile de rezistenţă a îmbinării sudate.

6.5. Interacţiunea metalului topit cu gazele, sulful şi fosforul

Interacţiunea oxigenului cu metalul topit al băii de sudare. În zona arcului sunt prezente zonele cu gaze, cu flux şi cu fazele metalice.

Metalul topit se poate oxida cu molecule şi atomi de oxigen liber din faza gazoasă, cu oxigenul, care se află pe muchiile componentelor în formă de oxizi şi zguri, cu oxigenul dizolvat în baia metalică şi în zgurile active, care întră în procesul sudării în reacţii (de schimb) de sudare şi restabilire cu metalul băii de sudare.

Fierul cu oxigenul formează trei compuşi chimici (oxizi), care au o importanţă majoră în procesele metalurgice, care se realizează la sudarea prin topire: protoxizi – oxid de fier (II) FeO cu conţinut de oxigen 22,27%, oxid de fier mixt Fe_3O_4 cu conţinut de oxigen 27,64% , oxid de fier (III) Fe_2O_3 cu conţinut de oxigen 30,66%. Din aceşti trei oxizi este solubil în fier numai protoxidul – FeO. Restul oxizilor practic sunt insolubili în fier. Însă calamina şi rugina de pe muchiile componentelor sudate cu conţinut de oxizi superiori Fe_2O_3 şi Fe_3O_4, pot fi dezoxidaţi de către fierul liber conform reacţiilor:

$$Fe_3O_4 + Fe \rightarrow 4FeO;$$
$$Fe_2O_3 + Fe \rightarrow 3FeO.$$

Protoxizii de fier formaţi se dizolvă parţial în zgură şi parţial în metalul topit şi în consecinţă în cusătura sudată se formează pori. În oţel solid dizolvarea oxizilor este limitată.

Pentru micşorarea dizolvării oxizilor în metal este necesar de avut o concentraţie mai scăzută a oxizilor în zgură. Aceasta permite ca oxizii să treacă din metal în zgură şi invers, concentraţia mai înaltă a oxizilor în zgură contribuie la trecerea lor în metal. Fierul se poate oxida şi de oxizii chimic

activi (siliciu, mangan s. a.).

$$SiO + Fe \rightarrow FeO + Si;$$
$$MnO + Fe \rightarrow FeO + Mn.$$

Dacă în metal se află gaze complexe, de exemplu CO_2 şi H_2O, care la disociere elimină oxigen, de asemenea se oxidează metalul băii de sudare.

Dacă metalul lichid are dezoxidanţi, care au afinitate chimică faţă de oxigen mai mare decât faţă de metalul băii de sudare, atunci concentraţia oxigenului în baia de sudare poate fi considerabil micşorată datorită elementelor dezoxidante.

6.6. Interacţiunea hidrogenului, azotului şi gazelor complexe cu metalul topit al băii de sudare

Hidrogenul în faza gazoasă se poate afla în stare atomică sau moleculară. Această stare depinde de temperatură. La temperaturi mai înalte hidrogenul molecular disociază în hidrogen atomic şi hidrogen ionizat. Metalele capabile să dizolve hidrogen se împart în două grupe. Prima grupă include metalele, care nu formează combinaţii chimice cu hidrogenul (fier, nichel, cobalt, cupru ş.a.). Metalele primei grupe absorb hidrogenul în stare solidă, solubilitatea căruia se măreşte la topirea metalului şi depinde de starea hidrogenului.

A doua grupă include metalele care formează cu hidrogenul hidruri, care prezintă combinaţii chimice ale metalelor cu hidrogenul (titan, tantal, vanadiu, zirconiu ş.a.). Cu cantităţi mici de hidrogen absorbit aceste metale formează cu el soluţii dure, iar cu cantităţi mai mari de hidrogen absorbit formează hidruri.

Elementele de aliere exercită influenţă diferită la solubilitatea hidrogenului în aliajele fierului. Siliciul, aluminiul şi cromul micşorează solubilitatea hidrogenului în aliajele fierului, iar titanul şi niobiul – o măresc.

Hidrogenul dizolvat în baia de sudare şi separarea lui incompletă în perioada de cristalizare conduce la formarea defectelor: pori, fisuri în metalul cusăturii şi de asemenea crăpături în zona influenţată termic. Concentraţia hidrogenului în baia de sudare poate fi micşorată prin formarea combinaţiilor chimice cu hidrogenul, insolubile în metal (de exemplu fluorura de hidrogen, HF) şi de asemenea prin oarecare oxidare a băii de sudare.

Azotul. În dependenţă de temperatură azotul, ca şi hidrogenul, în faza gazoasă a arcului se află în stare moleculară, atomică sau ionizată. Sursa principală de azot în faza gazoasă a arcului este mediul ambiant. Solubilitatea azotului în fier depinde de starea lui. Azotul nu se dizolvă în cupru, nichel, aur, argint şi nu formează cu aceste metale compoziţii chimice. Cu fierul azotul formează nitruri (Fe_2N – 11,15% N şi Fe_4N – 5,9%N).

Azotul înlesneşte formarea porilor în metalul cusăturii. Avansarea concentraţiei azotului în oţelurile cu conţinut scăzut de carbon influenţează la proprietăţile de rezistenţă şi plasticitate ale acestor oţeluri şi de asemenea înlesnesc îmbătrânirea metalului. Uneori azotul se introduce în componenţa oţelurilor aliate pentru realizarea unei structuri austenitice. În acest caz azotul este austenizator şi este considerat ca un adaos important de aliere.

6.7. Influenţa sulfului şi fosforului la calitatea îmbinărilor sudate

Sulful, combinându-se cu fierul formează sulfură de fier (II) FeS, care este o impuritate dăunătoare în metalul cusăturii. Sulfura de fier (II) în perioada cristalizării băii de sudare formează eutectică *FeS – Fe*, care are temperatura de topire mai joasă, decât oţelul. Eutectica are temperatura de topire 940°C şi solubilitate în metal lichid – scăzută. Din această cauză se formează în metal crăpături la cald, fiindcă eutectica la răcire se aşează între granulele metalului. Influenţa negativă, asupra cusăturii de sudare, are şi fosforul.

Fosforul micşorează rezilienţa metalului cusăturii. Pentru lichidarea acţiunii dăunătoare a sulfului şi fosforului este necesar de micşorat conţinutul lor în metalul cusăturii prin formarea compoziţiilor lor în metal.

Alierea metalului cusăturii. Alierea metalului cusăturii se poate realiza prin topirea sârmei de adaos sau introducerii în învelişul electrodului sau în flux a adaosurilor (pulberi) metalice corespunzătoare sau restabilirii din oxizi de metal. Aici trebuie de luat în consideraţie activitatea de oxidare a elementului de aliere în zona băii de sudare. Cu avansarea activităţii de oxidare a elementului de aliere în zona sudării, scade posibilitatea de însuşire a lui de către baia de sudare. Pentru estimarea purtării elementului corespunzător în baie este necesar de ştiut afinitatea lui faţă de oxigen (nivelul activităţii de oxidare a elementului de către oxigen). Activitatea, unor metale mai răspândite, faţă de oxigen creşte în următoarea consecutivitate (până la temperatura 1600° C):

Cu – Ni – Co – Fe – W – Mo – Cr – Mn – V – Si – Ti – Zr – Al.

Elementele aşezate în stânga fierului, la sudarea oţelurilor se vor însuşi complet de baia de sudură. Wolframul şi molibdenul care sunt în dreapta fierului, se dizolvă bine de baia de sudare. Mare dificultate prezintă alierea cusăturii cu titan, zirconiu şi aluminiu, fiindcă cu cât elementul este aşezat mai la dreapta de fier cu atât el mai uşor se oxidează.

Capitolul 7
MEDII DE PROTECŢIE

Majoritatea metalelor şi aliajelor la sudare prin topire reacţionează cu mediul ambiant. Foarte activ reacţionează metalul topit. Ca rezultat al acţiunii reciproce metalul se oxidează şi de asemenea în el se dizolvă azot şi hidrogen. Aceasta conduce, în majoritatea cazurilor la schimbarea proprietăţilor metalului cordonului şi îmbinării sudate. La sudarea prin topire este necesară protecţia metalului de la contactul cu aerul. Se utilizează protecţia *cu zgură, cu gaze* şi *combinată.*

Particularitatea protejării cu zgură constă în posibilitatea prelucrării metalurgice a metalului topit. Pentru aceasta se alege zgură cu particularităţi fizico-chimice stabilite. Zgurile convenţional se pot împărţi în două grupe: *active* şi *pasive*. Zgurile active pe lângă protecţie realizează şi prelucrarea metalurgică a metalului băii de sudură (dezoxidare, aliere, legarea sulfului şi fosforului). Zgurile pasive realizează, ca regulă, numai funcţiile de protecţie.

La sudarea diferitor metale se folosesc fluxuri, acoperiri şi miezuri din prafuri, care formează la topire zguri cu diferite particularităţi fizice şi componente chimice.

Pentru sudarea oţelurilor se utilizează zguri cu diferite componente. La majoritatea zgurilor, ca componentă obligatorie, care exercită influenţă la proprietăţile fizice ale zgurii este fluorura de calciu – CaF_2. Cele mai răspîndite sînt zgurile silicate cu conţinut de MnO, CaO, MgO, Al_2O_3 ş.a. Raportul oxizilor în zgurile pentru sudare a diferitor oţeluri este diferit. Micşorarea în zgură a concentraţiei oxizilor activi (FeO, SiO_2) şi avansarea în ea a conţinutului de alţi oxizi (CaO, MgO, Al_2O_3 ş.a.) conduce la scăderea posibilităţii de oxidare a sistemului faţă de majoritatea elementelor de aliere, care sunt prezente în baia de sudare. Pentru sudarea oţelurilor aliate se utilizează sisteme de zguri fără oxigen. În primul caz zgurile sunt formate din fluoruri de calciu şi sodiu (CaF_2 - NaF), iar în al doilea caz din diferiţi oxizi cu fluorură de calciu.

Pentru sudarea aluminiului, magneziului, titanului şi a aliajelor lor se folosesc sisteme de zguri fără oxigen. Pentru titan – zgură în baza CaF_2 – NaF cu adăugarea de cloruri. Pentru aluminiu – zgură în baza sărurilor de clor (NaCl, KCl, LiCl ş.a.) cu adăugarea fluorurilor (NaF, KF, LiF, AlF_6). Pentru aliajele de magneziu – zgură pe baza fluorurilor (NaF, KF, BF_3 ş.a.).

Pentru sudarea cuprului şi aliajelor de cupru se folosesc fluxuri şi acoperiri pentru electrozi care formează diferite sisteme de zgură. Baza unor sisteme de zgură o constituie boraţii: borax $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ şi acidul boric H_3BO_3. Alte sisteme de zgură întră în formă de adaosuri.

Pentru producerea fluxurilor, electrozilor înveliţi şi sârmelor umplute cu prafuri se folosesc materialele iniţiale (minereuri, nisip cuarţos, caolin,

marmură, fluoruri, cloruri şi alte componente), care corespund cerinţelor specifice impuse sistemelor de zgură. În majoritatea cazurilor componentele trebuie să fie curăţate de impurităţi (sulf, fosfor ş.a.).

7.1. Gaze de protecţie

Alegerea gazului de protecţie se efectuează având în vedere influenţa sa asupra procesului de sudare. Însuşirile fizice ale gazului influenţează transferul de material prin arcul electric, procesul de umectare al materialului topit, forma sudurii şi mărimea pătrunderii, viteza utilizabilă de sudare, uşurinţa de amorsare şi stabilitatea arcului electric.

În tabelul 7.1 sunt indicate principalele gaze şi amestecuri de gaze mai frecvent utilizate la sudarea MIG – MAG şi domeniile lor de aplicare.

Tabelul 7.1. *Gaze utilizate la sudarea MIG – MAG*

Materialul de bază	*Gaz*	*Simbolizare*
Oţeluri aliate şi slab aliate, oţeluri termorezistente	100% CO_2; Amestecuri de Ar: cu 15...20% CO_2 cu 8...20% O_2 cu 3...5% O_2	C M 2.1 M 2.3 şi M 3.3 M 2.2 şi M 3.2
Oţeluri Cr – Ni	Amestecuri de Ar: cu 2,5% CO_2 cu 8...12% O_2 cu 1...3% O_2	 M 1.1 M 1.2
Aluminiul şi aliajele lui	100% Ar Ar + He (până la 50%)	11 13
Nichelul şi aliajele lui	100% Ar	11

Pentru protejarea băii de metal topit la sudare se utilizează gaze inerte, gaze active şi de asemenea amestecuri de argon cu heliu, hidrogen, azot, bioxid de carbon, oxigen.

Protejarea cu gaze inerte este raţională la sudarea metalelor şi aliajelor cu prelucrarea metalurgică finisată şi cu puritate avansată. Ca gaze inerte la sudare se utilizează argonul şi heliul. Cel mai frecvent se utilizează argonul. El se obţine din aer.

Heliul se atribuie la categoria de gaze deficitare şi costisitoare. Obţinerea lui din gaze naturale este legată de dificultăţi considerabile. Argonul şi heliul influenţează în diferite feluri la protecţia metalului în timpul sudării şi la formarea cusăturii.

Argonul, care posedă o densitate mai mare comparativ cu heliul,

permite de realizat o protecţie mai sigură. Dacă sudarea se realizează cu utilizarea heliului, formarea cusăturii sudate se îmbunătăţeşte datorită micşorării tensiunii superficiale a metalului topit.

Argonul pentru sudare se produce după GOST de categoria superioară şi de asemenea de categoria întâia şi a doua. Argonul de categoria superioară este raţional de utilizat pentru sudarea metalelor, mai cu seamă a celor active, către gaze – titan, zirconiu, metalelor greu fuzibile şi aliajelor lor. Argonul de întâia categorie se foloseşte, ca regulă, pentru sudarea aluminiului şi aliajelor lui, argonul de categoria a doua – pentru sudarea oţelurilor aliate. Argonul se transportă şi se păstrează în butelii cu capacitatea de 40 l sub presiune de 150 bar.

Din gazele cele active cel mai des se foloseşte pentru protejarea metalului la sudare bioxidul de carbon CO_2. În unele cazuri pentru crearea mediului de protecţie se folosesc hidrogenul, azotul, vaporii de apă ş.a. Bioxidul de carbon este un gaz oxidant. De aceea, el se foloseşte în special pentru sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon şi oţelurilor slab aliate. Destinaţia lui este protejarea metalului topit de azotul din aer.

Bioxidul de carbon se obţine ca produs secundar (la arderea calcarului). Calitatea bioxidului de carbon exercită influenţă majorată asupra particularităţilor cusăturilor sudate. Ca regulă se utilizează gaze cu un conţinut de CO_2 > 99,5...99,0% şi vapori de apă 0,17...0,5 g/m^3 (GOST 8050-76).

Bioxidul de carbon se păstrează şi se transportă în butelii cu capacitatea de 40 l. Gazul se află în butelie în stare lichidă sub presiune de 75 bar. La utilizare dintr-o butelie se primeşte 12 m^3 de gaz. La uzine cu consum considerabil de bioxid de carbon este organizată alimentarea centralizată a posturilor de sudură. Pentru aceasta se folosesc instalaţii speciale – gazificatori care prelucrează gazele lichide sau solide.

Hidrogenul se utilizează ca un adaos la alte gaze. Azotul în calitate de gaz de protecţie sine stătător aproape că nu se foloseşte. Ca regulă se foloseşte ca adaos la alte gaze. Livrarea şi utilizarea gazelor de protecţie se realizează în butelii la o presiune de până la 200 bari sau prin sisteme de distribuţie centralizate, aplicate în cazul unor consumuri mari de gaz. Amestecurile de gaze se livrează îmbuteliate. Ele pot fi obţinute însă şi prin amestecarea directă la locul de livrare.

7.2. Tehnologii şi utilaje de sudare în medii de gaze protectoare

Generalităţi. Sudarea cu flacără în medii de gaze de protecţie posedă o productivitate avansată, uşor se pretează automatizării şi permite realizarea îmbinării fără utilizarea învelişurilor electrozilor şi fluxurilor. Aceste procedee de sudare au căpătat o răspândire largă la confecţionarea construcţiilor sudate din oţeluri, metale neferoase şi aliajele lor.

Clasificarea procedeelor de sudare în medii de protecţie este prezentată în figura 7.1.

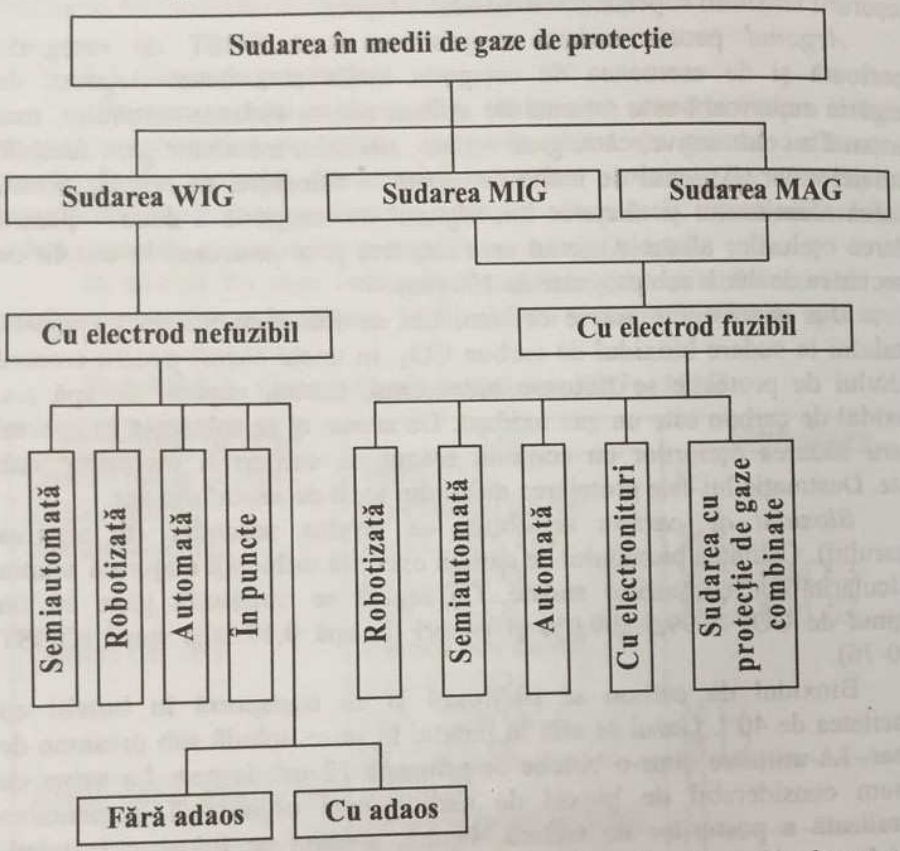


***Fig. 7.1.** Schema clasificării procedeelor de sudare în medii de gaze de protecţie*

Definirea şi clasificarea procedeului de sudare MIG/MAG. Procedeul de sudare MIG/MAG face parte din grupa procedeelor de sudare prin topire cu arcul electric în mediu de gaze protectoare. În funcţie de caracterul electrodului această grupă cuprinde două subgrupe mari:

- procedee de sudare cu electrod fuzibil;
- procedee de sudare cu electrod nefuzibil.

Se utilizează următoarele tipuri de arce, respectiv moduri de transfer al picăturii de metal specifice sudării în medii de gaze protectoare MIG/MAG:

- arc scurt: transfer prin scurtcircuit;
- arc spray: transfer prin pulverizare;
- arc lung: transfer global;

- arc pulsat: transfer sinergic.

Descrierea procedeului. Sudarea MIG/MAG este un procedeu de sudare prin topire cu arcul electric cu electrod fuzibil, pentru protecţia arcului şi a băii de metal folosindu-se un gaz de protecţie. Se disting două variante ale procedeului:

- sudarea MAG (metal-activ-gaz) în cazul unui gaz activ;
- sudarea MIG (metal-inert-gaz) în cazul unui gaz inert.

Procedeul este întâlnit cel mai frecvent în varianta semimecanizată (viteza de sudare manuală, viteza de avans a sârmei electrod întotdeauna mecanizată), dar procedeul se pretează cu uşurinţă la mecanizare, automatizare şi chiar robotizare, dovadă instalaţiile de sudare tot mai numeroase care pot fi întâlnite în producţia de structuri sudate (în special roboţi de sudare).

Schema de principiu a procedeului de sudare MIG/MAG este prezentată în figura 7.2.

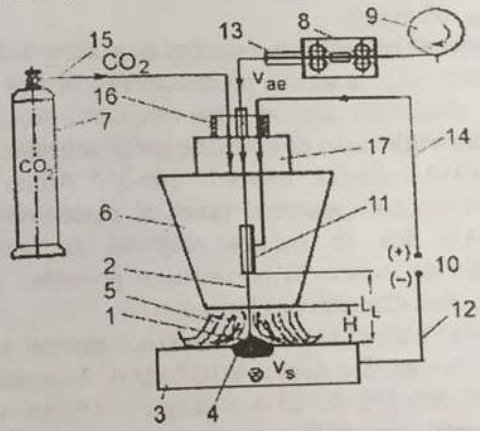


***Fig. 7.2.** Schema de principiu a procedeului de sudare MIG/MAG*

Arcul electric *1* amorsat între sârma electrod *2* şi componentele *3*, produce topirea acestora formând baia de metal *4*. Protecţia arcului electric şi a băii de metal topit se realizează cu ajutorul gazului de protecţie *5*, adus în zona arcului prin duza de gaz *6* din butelia *7*. Sârma electrod este antrenată prin tubul de ghidare *13* cu viteză de avans constantă V_{ae} de către sistemul de avans *8* prin derularea de pe bobina *9*. Alimentarea arcului cu energie electrică se face de la sursa de curent continuu (redresor) *10* prin duza de contact *11* şi prin cablul de masă *12*. Tubul de ghidare a sârmei electrod *13*, cablul de alimentare cu curent *14* şi furtunul de gaz *15* sunt montate într-un tub flexibil de cauciuc *16* care împreună cu capul de sudare *17* formează pistoletul de sudare.

Utilizare. Sudarea MIG/MAG are un grad mare de universalitate, putându-se suda în funcţie de varianta de sudare (gazul protector) o gamă foarte largă de materiale, oţeluri nealiate, cu puţin carbon, oţelurile slab aliate sau înalt aliate, nemetale şi aliaje neferoase (cupru, aluminiu, nichel, titan, etc.), ponderea de aplicare fiind în continuă creştere pe măsura lărgirii şi diversificării gamei de materiale de adaos (sârmă electrod), pentru o varietate tot mai mare de materiale metalice.

Utilizarea procedeului se face cu prudenţă în cazul îmbinărilor sudate cu pretenţii mari de calitate (îmbinări din clasele superioare de calitate), la care se impune controlul nedistructiv (cu radiaţii penetrante sau cu ultrasunete), datorită incidenţei relativ mari de apariţie a defectelor, care depăşesc limitele admise, în principal de tipul porilor, microporilor şi lipsei de topire.

Avantajele procedeului. Principalele avantaje ale procedeului MIG/MAG sunt productivitatea ridicată şi facilitatea mecanizării, automatizării sau robotizării.

Productivitatea ridicată este asigurată de puterea ridicată de topire a arcului, pătrunderea mare la sudare, posibilitatea sudării cu viteze de sudare mari, respectiv eliminarea unor operaţii auxiliare. Aceste aspecte sunt determinate de densităţile mari de curent ce pot fi utilizate: 150-250 A/mm^2 la sudarea MIG/MAG clasică, respectiv 300-350 A/mm^2 la sudarea cu sârmă tubulară. Domeniul mult mai extins al puterii de topire în cazul sudării MIG/MAG faţă de sudarea obişnuită se realizează datorită posibilităţilor mari de variaţie ai parametrilor principali ai curentului şi tensiunii pentru acelaşi diametru de electrod.

De exemplu, în cazul sârmei electrod cu diametrul 1,2 mm (cea mai frecvent utilizată în practica sudării MIG/MAG). Valorile curentului pot varia în domeniul 50...350 A, iar a tensiunii – 15...35 V. Acest aspect constituie un avantaj important luând în consideraţie că cu un singur diametru de electrod se poate acoperi o gamă mare de grosimi de materiale de bază la sudare (de la 1 mm la zeci de mm), respectiv este posibilă sudarea cu acelaşi diametru de sârmă electrod în orice poziţie prin corelarea corespunzătoare a parametrilor tehnologici de sudare.

Flexibilitatea în direcţia mecanizării şi robotizării este asigurată în principal de posibilitatea antrenării mecanizate a sârmei electrod (sârme subţiri), de modul de realizare a protecţiei la sudare (cu gaz), de uşurinţa reglării şi controlului parametrilor tehnologici de sudare, de gabaritul relativ mic al capului de sudare, etc.

La aceste avantaje principale se poate adăuga:
- grad înalt de universalitate a procedeului;
- posibilitatea sudării în orice poziţie;
- eliminarea operaţiei de curăţire a zgurii;

- grad înalt de utilizare a materialului de adaos (90-95%);
- cantitate redusă de fum;
- conducerea şi supravegherea uşoară a procesului de sudare (arcul este vizibil);
- factor operator superior sudării cu electrod învelit (SE), 60-65%, ca efect a eliminării operaţiei de schimbare a electrodului şi de curăţire a zgurii de pe cusătura sudată;
- tensiuni şi deformaţii mici la sudare (energie liniară mică).

Dezavantajele procedeului. Se pot sintetiza astfel:
- echipamentele de sudare mai scumpe şi mai complicate;
- flexibilitatea mai redusă decât la sudarea SE: pistoletul de sudare mai greu şi cu manevrabilitate mai scăzută, cu rază de acţiune limitată în cazul echipamentelor clasice la 3...5 m faţă de sursa de sudare, uneori necesită spaţiu de acces mai mare;
- pierderi de material de adaos (în anumite condiţii) prin stropi (5-10%);
- sensibil la curenţi de aer (evitarea sudării în locuri deschise, cu vânt, etc.);
- limitat la grosimi, în general, mai mari de 1mm;
- riscul unei protecţii necorespunzătoare a arcului electric şi a băii de metal;
- probabilitatea relativ mare de apariţie a defectelor în îmbinarea sudată, în principal pori şi lipsă de topire.

Procedeul oferă însă o flexibilitate mai redusă decât sudarea cu electrozi înveliţi, pentru efectuarea sudării fiind necesar un spaţiu de acces mai mare. Distanţa dintre pistoletul de sudare şi sursă este limitată la valori de cca. 4m, ea putând fi mărită prin utilizarea unor sisteme speciale de antrenare a sârmei până la cca. 16 m. Utilajul de sudare este mai complicat şi ca atare, mai costisitor.

Efectuarea sudării în aer liber în condiţii de curenţi de aer este îngreunată de deteriorarea nivelului de protecţie al materialului topit. Procedeul prezintă o sensibilitate la defecte de legătură la începutul sudării, ca urmare a faptului că avansul sârmei demarează simultan cu începutul procesului de degajare a energiei. În anumite condiţii tehnologice, în timpul sudării se pot produce împroşcări de material topit (stropi).

Sudarea MIG/MAG reprezintă procedeul cu cel mai mare volum de aplicare industrială. În majoritatea cazurilor este avantajoasă, din punct de vedere economic, înlocuirea sudării cu electrod învelit prin sudare MIG/MAG. Procedeul se poate utiliza la sudarea unor table (piese) cu grosimea mai mare de 1mm. În varianta MIG, procedeul se foloseşte pentru sudarea oţelurilor aliate şi a metalelor neferoase, iar în varianta MAG pentru îmbinarea oţelurilor carbon şi slab aliate.

În tabelul 7.2 sunt indicate regimurile de sudare MIG/MAG.

***Tabelul 7.2.** Regimurile de sudare MIG/MAG*

Parametrul	*Domeniul de valori*
Diametrul sârmei, mm	0,8...2,4
Curentul de sudare, A	60...500
Tensiunea arcului, V	20...30
Viteza de sudare, cm/min	20...150
Debitul gazului, l/min	8...20

Materiale de sudare. La sudarea MIG/MAG se utilizează ca materiale de sudare sârma de sudare şi gazul de protecţie. Clasificarea şi simbolizarea materialului depus prin sudare în mediu de gaz protector este standardizată, ca de exemplu prin SR EN440 pentru oţelurile nealiate şi cu granulaţie fină. Postul de lucru pentru sudare cu electrod fuzibil în mediu de gaze de protecţie cu curent continuu trebuie să fie dotat cu (fig. 7.3): sursă de curent continuu *1*, ampermetru, voltmetru, mecanism de antrenare a sârmei *2*, bucşă conductoare de curent *3*, arzător *4*, rotametru *5*, manometru de presiune joasă *6*, reductorul *7*.

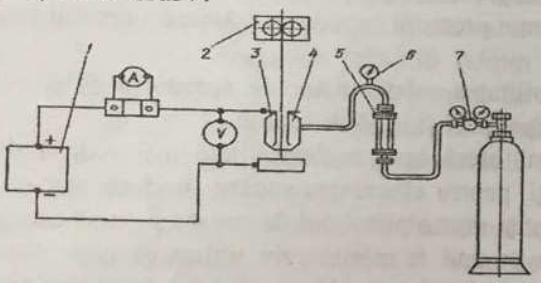


***Fig. 7.3.** Schema postului de sudare cu electrod fuzibil în curent continuu în mediu de gaze de protecţie*

7.3. Sudarea prin procedeul MIG

Sudarea MIG este un procedeu de sudare cu arc electric în mediu de gaze protectoare (inerte), folosindu-se electrozi fuzibili.

Operaţia de sudare se poate realiza semiautomat, automat sau robotizat. Materialul de adaos este prezentat sub formă de sârmă electrod antrenată mecanic spre locul de sudare.

Procedeul MIG are următoarele avantaje:

- întregul spaţiu al arcului este protejat de un gaz inert, deci nu au loc fenomene de oxidare, ceea ce face ca compoziţia chimică a materialului de adaos să se păstreze la nivelul iniţial;
- arcul electric este vizibil şi ca atare conducerea procesului se poate face cu exactitate;

- după sudare nu este zgură, cusătura-i curată, următoarele straturi se pot aplica imediat;
- procedeul se execută semiautomat, automat sau robotizat.

Materialele de sudare sunt: sârma electrod şi gazele de protecţie (argon sau heliu).

Mai frecvent se utilizează argonul (Ar), care produce autoascuţirea sârmei de adaos în cursul sudării, ceea ce măreşte concentraţia şi stabilitatea arcului electric. Heliul (He) este mai costisitor şi nu produce acest fenomen.

La sudarea oţelurilor se recomandă ca gaze de protecţie de utilizat amestecuri de Ar cu oxigen (O_2): la oţeluri nealiate cu puţin carbon şi slab aliate cantitatea de O_2 în Ar poate varia de la 2 până la 25%, iar la oţeluri aliate de la 1pînă la 2%. În acest caz cusăturile au un aspect regulat, iar muşcăturile marginale sunt reduse. Sârmele electrod au aceeaşi compoziţie chimică ca şi materialele de bază (MB).

Sudarea MIG se realizează în curent continuu cu polaritate inversă. Electrodul fiind fuzibil, bombardarea cu electroni avansează viteza de topire.

Curentul de sudare I_s se alege în funcţie de diametrul sârmei electrod d_e şi de poziţia de sudare (tabelul 7.3).

***Tabelul 7.3.** Valorile intensităţii I_s funcţie de diametrul d_e*

Diametrul sîrmei electrod d_e, mm	*Curentul de sudare I_s, A*	
	orizontală	*Alte poziţii*
0,8	50...150	50...125
0,9	75...175	75...150
1,2	100...225	100...175

Debitul gazelor de protecţie depinde de diametrul sârmei de sudare, de gazul de protecţie folosit şi de metalul de bază.

Valorile debitului de gaz pot varia în funcţie de condiţiile de lucru în care se sudează: în atelier, în camere speciale etanşe, în hale, la înălţime, la aer liber etc. Gazele de protecţie sunt influenţate de viteza vântului. În acest caz importantă este aprecierea corectă a distanţei de la duză până la componentele de sudat.

Tensiunea arcului U_a depinde de gazul de protecţie, de diametrul sârmei electrod, de metalul de bază.

Sudarea MIG se poate realiza utilizând următorii parametri tehnologici:

- curentul de sudare $I_s = 300$ A;
- tensiunea arcului $U_a = 26$ V;
- viteza de sudare $V_s = 380$ cm/min;
- grosimea tablelor $S = 8$ mm.

Prin procedeul MIG se pot suda table cu grosimea până la 8 mm pe o singură parte şi până la 13 mm pe ambele părţi, având marginile prelucrate sub diferite forme conform indicaţiilor standardelor în vigoare.

7.4. Sudarea prin procedeul MAG

Arcul electric se formează între sârma electrod şi piesa într-un mediu protector de gaz activ, folosindu-se electrozii fuzibili.

Deoarece în majoritatea cazurilor se foloseşte drept gaz activ bioxidul de carbon, procedeul mai poartă denumirea de sudare cu arc electric în mediu protector de CO_2.

La sudarea MAG gazul protector trebuie să corespundă următoarelor cerinţe:

- puritate: $CO_2 \geq 99{,}9\%$;
- umiditate < 300 mg/1000 l CO_2 – optimal sub 70 mg;
- amestecul de gaze să fie încălzit înainte de a ajunge în arcul electric.

La sudarea MAG se mai folosesc şi amestecuri de gaze cum ar fi:

- $CO_2 + Ar$ la sudarea unor oţeluri de tip slab aliate. Prin introducerea argonului se îmbunătăţeşte arderea arcului electric, tensiunea U_a scade cu 1...3 V, împroşcările se reduc, aspectul cusăturii şi plasticitatea se îmbunătăţesc, ca consecinţă a reducerii oxigenului din spaţiul arcului electric.
- $CO_2 + N_2$ la sudarea unor oţeluri de tip austenitic. Se stabilizează austenita în oţelurile respective. Oxidările sunt mai puţin intense. Se îmbunătăţeşte plasticitatea cordonului de sudură.
- $CO_2 + O_2$ la sudarea oţelurilor nealiate cu puţin carbon şi slab aliate. Oxigenul măreşte temperatura oţelului topit, care creşte proporţional creşterii cantităţii de oxigen în amestec (dacă temperatura băii la sudare în CO_2 este 1880°C, atunci la sudare în O_2 ea va fi 2250° C). Creşterea temperaturii băii prin adaos de oxigen, conduce la avansarea vitezei de sudare, a pătrunderii şi ca consecinţă – la ridicarea productivităţii sudării. Oxigenul micşorează împroşcăturile cu metal topit dând cusăturii un aspect neted.

Oxigenul în amestec se limitează la 5...10% pentru a nu reduce plasticitatea cordonului sudat.

Sârma electrod conţine dezoxidanţi ca Si, Mn, Ti, Al, Zr care protejează fierul de oxidare. Titanul are un efect favorabil asupra caracteristicilor mecanice, avansează limita de curgere de 1,15...1,2 ori, rezistenţa de 2,14 ori, reduce cantitatea de oxigen din cordon şi pierderile prin stropi cu 50%.

7.5. Tehnologia sudării MAG în mediu de bioxid de carbon

Sudarea în mediu de bioxid de carbon se realizează aproape în toate

poziţiile spaţiale. Sudarea se realizează cu alimentarea arcului electric cu curent continuu polaritate inversă. La sudarea cu curent continuu cu polaritate directă scade stabilitatea de ardere a arcului, se înrăutăţeşte procesul de formare a cusăturii, se măreşte consumul de electrozi la stropire şi ardere. Însă coeficientul de topire este mai mare de 1,6...1,8 ori decât la sudarea cu polaritate inversă. Sudarea se poate realiza şi în curent alternativ însă în reţeaua de sudare trebuie introdus un oscilator. Tablele cu grosimea de 0,6...1,0 mm în mediu de bioxid de carbon se sudează cu bordurarea capetelor. Se permite sudarea şi fără bordurare, dar cu joc între capetele pieselor sudate de 0,3...0,5 mm. Tablele cu grosimea de 1,0...8 mm se sudează fără prelucrarea capetelor cu jocul dintre capete nu mai mare de 1,0 mm. Tablele cu grosimea de 8...12 mm se sudează cu pregătirea rostului în V, iar la grosimi mai mari – în X.

Înainte de sudare capetele tablelor trebuie să fie minuţios curăţate de murdării, vopsea, oxizi, calamină. Rezultate superioare permite sudarea cu densitate mare de curent, care asigură stabilitatea arderii arcului, productivitatea înaltă a procesului şi micşorarea pierderilor de metal la stropire cu 8...12%. În acest caz la sudarea în bioxid de carbon se utilizează sârmă cu diametrul de la 0,5 până la 2,0 mm, care permite realizarea procesului cu densitatea curentului nu mai mică de 80 A/mm^2. Se utilizează sârmă electrod din oţel cu conţinut scăzut de carbon şi conţinut avansat de siliciu şi mangan. Suprafaţa sârmei electrod trebuie să fie bine curăţată de lubrifianţi, de coroziuni şi alte impurităţi, care erodează stabilitatea regimului de sudare.

Regimul de sudare se stabileşte în dependenţă de grosimea tablelor care urmează să fie sudate (tabelul 7.4).

***Tabelul 7.4.** Regimuri de sudare în dependenţă de grosimea tablelor*

Grosimea tablelor, mm	*Diametrul sârmei electrod, mm*	*Curentul de sudare, A*	*Tensiunea arcului, V*	*Viteza de sudare, m/h*	*Consumul gazului, m^3/min*
0,8...1,5	0,5...0,8	60...100	17...20	17...20	5...7
1,5...2,0	0,8...1,0	80...100	19...20	16...20	6...8
2,0...3,0	1,0...1,2	100...130	19...20	14...16	8...10
3,0...4,0	1,2...2,0	120...200	20...24	16...20	12...16

Valoarea curentului de sudare şi viteza sudării în mare măsură depinde de dimensiunile rostului, adică de cantitatea metalului topit. Cu cât dimensiunile cordonului sunt mai mari, cu atât viteza sudării este mai mică şi cu atât mai mare valoarea curentului de sudare. Tensiunea curentului se stabileşte în aşa fel, ca procesul de sudare să fie stabil la un arc scurt după

posibilitate 1,5...2,0 mm. La o lungime a arcului mai mare procesul de sudare este instabil, se măreşte împroşcarea cu stropi, creşte probabilitatea de oxidare şi azotare a metalului topit. Viteza de avans a sârmei de sudare depinde de curentul şi tensiunea de sudare. Practic ele se stabilesc în aşa fel ca procesul să demareze stabil la formarea îndestulătoare a cusăturii şi împroşcarea neînsemnată cu stropi de metal.

Consumul de bioxid de carbon se stabileşte în aşa fel, ca să se asigure protecţia metalului cusăturii de aerul atmosferic. La sudarea pieselor groase cu curenţi de sudare de 500...1000 A consumul de gaze atinge 15...20 l/min.

Distanţa dintre ajutajul arzătorului până la îmbinarea sudată, la valoarea curentului până la 150 A, trebuie să fie în limitele de 7...15 mm, iar la curent până la 500 A – în limitele de 15...25 min.

Lungimea liberă a sârmei de sudare se stabileşte în dependenţă de diametrul sârmei de la 0,5 până la 1,2 mm – în limitele de 8...15 mm, iar la diametrul de la 1,2 până la 3,0 mm – în limitele de 15...35 mm. în procesul de sudare electrodului i se transmite aşa mişcare, ca să fie bine umplut rostul dintre piesele de sudat şi formarea îndestulătoare a cordonului.

În figura 7.4 sunt prezentate oscilaţiile electrodului în timpul realizării unei cusături în trei straturi. Se recomandă pentru micşorarea pericolului de formare a fisurilor primul strat de sudat se va realiza cu un curent de sudare mai mic.

Se termină cusătura cu umplerea craterului cu metal topit. După aceasta se opreşte avansul sârmei de sudare şi se deconectează curentul electric. Bioxidul de carbon pe craterul sudat trebuie să pătrundă până la solidificarea metalului.

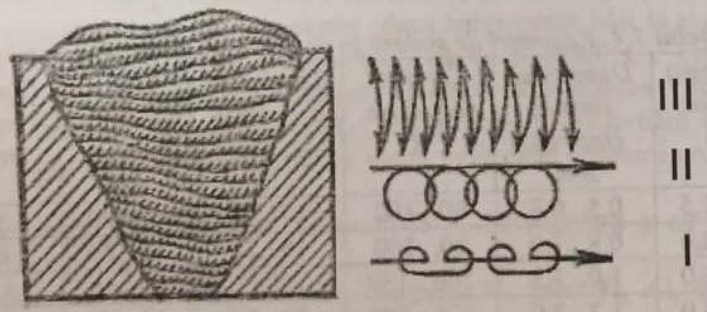


Fig. 7.4. Oscilaţiile electrodului în timpul sudării în mediu de bioxid de carbon: I – primul strat; II – al doilea strat; III- al treilea strat

La sudarea MAG trebuie de ţinut cont de acţiunea dăunătoare a bioxidului de carbon, care se utilizează la sudare. De aceea la sudare în rezervoare şi încăperi închise trebuie de avut o ventilaţie bună a posturilor de sudare.

7.6. Sudarea prin procedeul WIG

Sudarea are loc cu arc electric ce arde liber între un electrod nefuzibil de wolfram şi piesă. Arcul arde într-un mediu de gaz inert protector (argon, heliu sau amestecuri). În practică se foloseşte simbolul WIG (*Wolfram Inert Gaz*) (fig. 7.5). Pentru realizarea cusăturii în spaţiul arcului, se introduce, din lateral, manual sau automat, metal de adaos sub formă de sârmă.

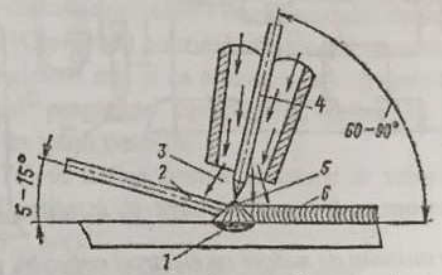


Fig. 7.5. Schema sudării în mediu de gaze de protecţie cu electrod nefuzibil: 1 – baia de metal topit; 2 – sârmă de adaos; 3 – şuviţă de gaz protector; 4 – electrod de wolfram; 5 – arc electric; 6 – cusătură sudată

La sudurile pe muchii sau cu margini răsfrânte, sudarea se realizează fără material de adaos ajungându-se la o viteză de aproximativ 200 m/oră.

Pentru sudare se folosesc surse de curent continuu, polaritate directă iar pentru sudarea aluminiului şi aliajelor sale se foloseşte curent alternativ.

Sudarea cu polaritate inversă conduce la o temperatură ridicată la pata anodică, ceea ce duce la deteriorarea rapidă a electrodului.

Totuşi, dacă este necesară aplicarea acestui procedeu se acţionează la limitarea curentului de sudare. De exemplu, pentru un electrod cu diametrul de 4 mm, curentul admis pentru sudare în curent continuu cu polaritate inversă este de 40 - 55 A, în timp ce la polaritatea directă I_s = 300...500 A. Pentru mărirea capacităţii de emisie a feţei catodice, electrodul de W se aliază cu 1...2% Th sau cu 0,3...0,5% Zr. În aceste condiţii electrozii pot lucra cu intensităţi de curent mai mari.

La sudarea cu electrod de wolfram în mediu de argon, heliu sau amestecuri ale acestor gaze ca sursă de căldură serveşte arcul electric dintre electrodul de wolfram şi piesa de sudat. Materialul de adaos se transmite din afară. Electrodul, arcul şi baia de metal topit sunt protejate de gazele inerte.

Sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert se poate realiza în curent continuu şi în curent alternativ.

Postul de lucru pentru sudarea cu arc electric nefuzibil cu curent alternativ trebuie să fie dotat cu (fig. 7.6): transformator de sudare *1*, drosel *2*, oscilator *3*, reostat *4*, ampermetre de curent alternativ *5* şi continuu *6*,

voltmetru *7*, suflai-portelectrod cu electrod de wolfram *8*, manometru de presiune joasă *9*, rotametru (debitmetru) *10*, reductor *11*, butelie cu gaz *12* şi masa *13*.

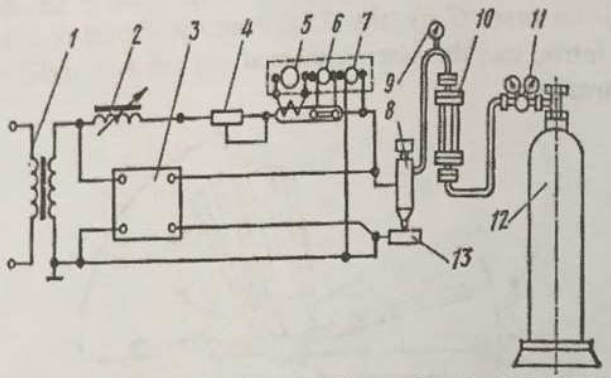


Fig. 7.6. Schema postului de sudare cu electrod nefuzibil (WIG) în curent alternativ

Postul de lucru pentru sudarea cu electrod nefuzibil cu curent continuu este dotat cu (fig. 7.7): sursa de curent continuu *1*, ampermetru *3*, drosel *4*, oscilator *2*, suflai-portelectrod cu electrod de wolfram *5*, manometru de presiune joasă *9*, rotametru de presiune joasă *6*, reductor *7*, butelie cu gaz *8*, masă pentru suport *10*.

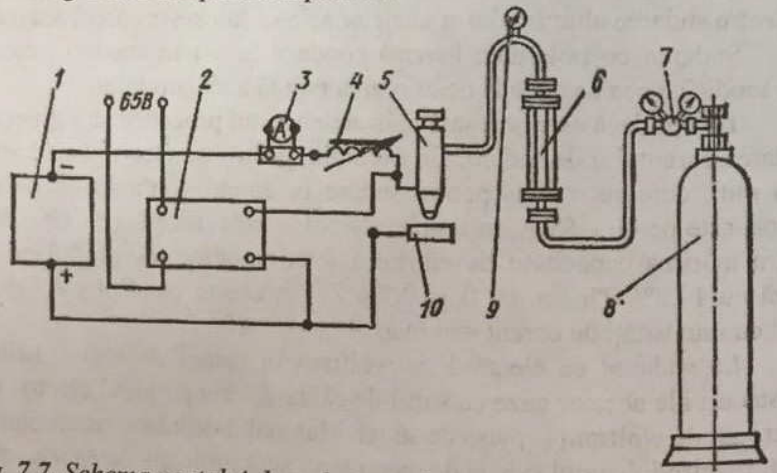


Fig. 7.7. Schema postului de sudare cu electrod nefuzibil (WIG) în curent continuu

Caracteristici ale procesului de sudare WIG şi domeniile de aplicare. Sudarea WIG are un grad înalt de universalitate, putând fi aplicată pentru îmbinarea sudării în orişice poziţie. Este posibilă efectuarea sudării în orişice poziţie. Grosimea minimală sudabilă este de cca. 0,5 mm.

Sudarea WIG se caracterizează printr-o calitate excelentă, datorată în bună măsură protecţiei oferite de gazul inert. Trecerea metalului de adaos prin arcul electric se face, practic, fără stropi. Materialul de adaos nefiind conectat în circuitul electric de sudare, nu este transferat prin spaţiul arcului, ci doar topit de acesta. Astfel există posibilitatea controlului independent al sursei termice şi al introducerii de material de adaos. Sudura nu este acoperită cu zgură şi ca atare, nu este necesară o curăţare a îmbinării sudate. Procedeul permite un control excelent asupra modului de formare a rădăcinii sudurii. Sudarea WIG prezintă o serie de neajunsuri şi anume coeficientul de depunere (a materialului) mic şi ca urmare, productivitate scăzută, pretenţii mai înalte privind pregătirea operatorului; dificultăţi de asigurare a protecţiei gazoase în spaţii deschise.

În tabelul 7.5 se indică domeniile uzuale de valori ale parametrilor de sudare WIG. Cantitatea materialului depus prin sudare (rata depunerii) este redusă (0,5...1,5 g/s).

Domeniile de aplicare ale sudării WIG sunt:

- sudarea tablelor subţiri;
- sudarea aluminiului, oţelurilor aliate, cuprului şi a materialelor reactive;
- sudarea straturilor de rădăcină, la sudarea în mai multe straturi, în cazul îmbinării cap la cap a ţevilor şi în general, în situaţia accesului dintr-o singură parte, în condiţii de calitate severe.

Tabelul 7.5. *Domenii uzuale ale parametrilor de sudare WIG*

Parametri	*Domeniul de valori*
Diametrul electrodului nefuzibil, mm	0,5...6,3
Curentul de sudare, A	10...300
Tensiunea arcului electric, V	10...30
Debitul de gaz (argon), l/min	5...15
Viteza de sudare, cm/min	10...30 (80)
Diametrul sîrmei de adaos, mm	2..5

Materiale pentru sudare. La sudarea WIG se utilizează electrozi nefuzibili, gaze de protecţie şi sârme de adaos.

Arcul electric arde mai bine în Ar decât în He. Preţul heliului este mai mare. De aceea la sudarea prin procedeul WIG se utilizează ca gaz

protector mai frecvent argonul (Ar) şi amestecuri de gaze având ca bază tot argonul.

La sudarea prin procedeul WIG materialul de adaos (MA) are o compoziţie similară cu cea a materialului de bază (MB). Sunt şi cazuri când nu se respectă întru totul compoziţia chimică din MB şi MA. Pentru sudarea prin procedeul WIG se folosesc electrozi nefuzibili din wolfram (W) aliaţi cu thoriu (Th) şi zirconiu (Zr). Nivelele de aliere variază între 1 şi 2% thoriu şi respectiv 0,3...0,5% zirconiu. Temperaturile de topire ale celor trei elemente sunt: W→3410°C; Th→1750°C; Zr→1832°C.

La sudarea WIG manuală capătul electrodului se ascute la con. Lungimea capătului ascuţit, ca regulă, constituie 2...3 diametre ale electrodului.

Arcul se aprinde pe o placă specială de cărbune. Amorsarea arcului pe metalul de bază nu se recomandă din cauza posibilităţii topirii şi impurificării capătului electrodului.

Pentru amorsarea arcului se poate utiliza o sursă de alimentare cu tensiune ridicată a mersului în gol sau o sursă adăugătoare de alimentare cu tensiune înaltă (oscilator), fiindcă potenţialul de amorsare şi ionizare a gazelor inerte este mai avansat, decât a oxigenului, azotului şi a vaporilor de metale. Arcul electric în gaze inerte se deosebeşte printr-o stabilitate înaltă.

Sudarea în mediu de heliu are acelaşi principiu de lucru ca şi sudarea în mediu de argon de atâta aparte nu se descrie.

În mediu de argon se pot realiza toate tipurile de îmbinări: cap la cap, în „T", în colţ şi suprapuse.

Pentru protejarea metalului cusăturii din partea rădăcinii se suflă gaze de protecţie (se creează surplus de presiune a gazului protector din partea rădăcinii). La sudarea titanului, aluminiului şi aliajelor lor la rădăcină se suflă argon. La sudarea oţelurilor inoxidabile se poate utiliza argon, azot, bioxid de carbon, amestecuri de azot cu hidrogen.

Sudarea manuală cu arc electric în mediu de argon se realizează fără oscilaţii transversale ale arzătorului, care nu se recomandă de utilizat din cauza posibilităţilor de erodare a protecţiei zonei de sudură. Unghiul dintre axa ajutajului şi planul piesei sudate trebuie să fie 60...90°. Sârma de adaos se menţine sub un unghi de 90° faţă de ajutajul arzătorului, iar unghiul dintre sârmă şi piesa sudată constituie 5...15° (vezi figura 7.5).

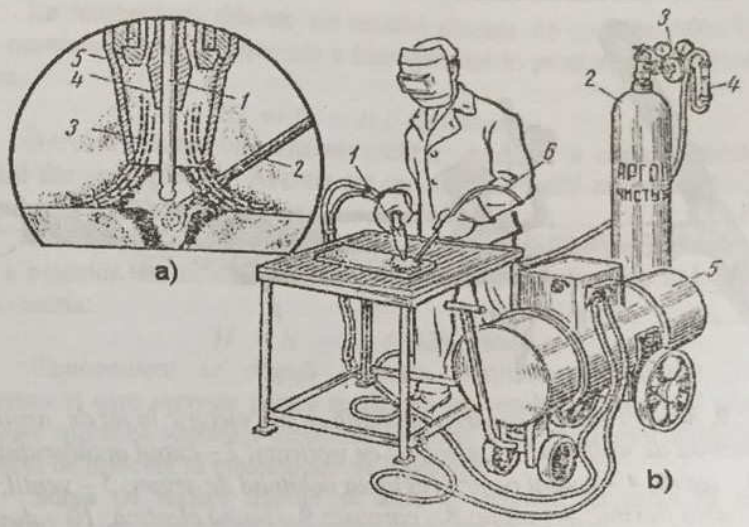


Fig. 7.8. *Post de sudare cu curent continuu şi electrod de wolfram:* ***a*** *– schema acţionării ajutajului: 1 – electrod de wolfram; 2 – vergea (sârmă) de adaos; 3 – jet de argon; 4 – conductor de curent electric – ajutaj pentru apă, bucşa elastică; 5 – ajutaj exterior;* ***b*** *– post de sudare: 1 – arzător; 2 – butelie cu argon; 3 – reductor; 4 – rotametru; 5 – redresor de sudare; 6 – vergeaua de adaos*

Utilizarea amestecului de gaze în loc de gaze tehnice pure (argon sau heliu) în unele cazuri avansează stabilitatea de ardere a arcului, micşorează împroşcările cu metal topit, îmbunătăţeşte procesul de formare al cusăturii şi de asemenea acţionează la depunerea metalului şi măreşte productivitatea procesului de sudare.

Pentru sudare se utilizează heliu şi argon – gaze inerte, care nu formează cu alte elemente îmbinări chimice, afară de unii hibrizi, stabilitatea cărora se menţine în unele intervale înguste de temperaturi şi presiuni.

Argonul este mai greu decât aerul, de aceea jetul lui bine protejează arcul şi zona sudării.

Postul de sudare manuală cu electrozi de wolfram în mediu de gaze inerte şi electrod de wolfram este prezentată în figura 7.8, iar construcţia arzătorului în figura 7.9.

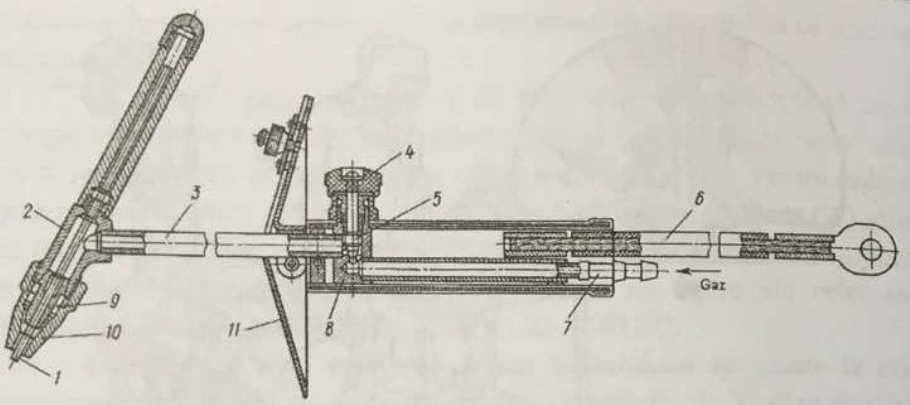


Fig. 7.9. Arzător pentru sudarea manuală cu arc electric în jet de argon cu electrod de wolfram: 1 - electrod de wolfram; 2 – capul arzătorului; 3 – ţeavă; 4 – volant pentru reglarea debitului de argon; 5 – ventil; 6 – cablu flexibil; 7 – niplu; 8 – carcasă; 9 – bucşă elastică; 10 – duză; 11 – apărătoare

7.7. Sudarea WIG cu hidrogen atomic

Sudarea cu hidrogen atomic este un procedeu de sudare cu arc electric în mediu de gaz protector cu doi electrozi nefuzibili (de wolfram). Arcul electric de curent alternativ se menţine între doi electrozi de wolfram într-o atmosferă de hidrogen (fig. 7.10).

Arcul electric arde independent de piesă şi ca atare se poate acţiona asupra transferului de căldură. Hidrogenul protejează atât baia lichidă cât şi electrodul de wolfram de contactul cu aerul. Arcul electric arzând independent de piesă iar poziţionarea arcului nu este critică.

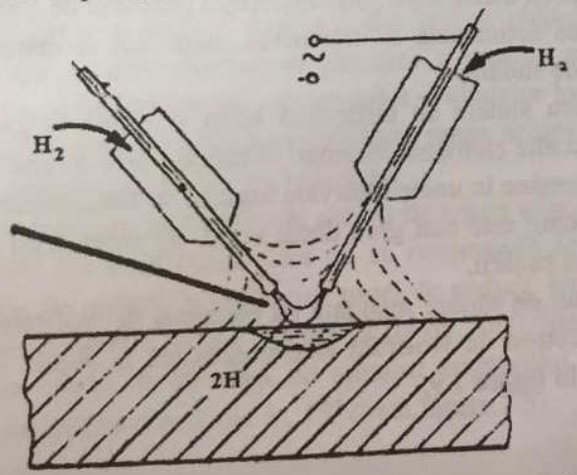


Fig. 7.10. Schema sudării cu hidrogen atomic

La temperaturi ridicate ale arcului electric de aproape 6000°C, în zona acestuia are loc o disociere a hidrogenului în proporţie de 70% după reacţia:

$$H_2 \leftrightarrow H + H \text{ (-420kJ/mol)}.$$

Întrucât reacţia este endotermică se absoarbe o mare cantitate de căldură din arcul electric. Aceasta are un efect favorabil asupra electrozilor privind supraîncălzirea acestora.

Fluxul gazos conţinând hidrogen disociat întâlneşte suprafaţa mai rece a pieselor. La nivelul acesteia se produce recombinarea hidrogenului după reacţia:

$$H + H \leftrightarrow H_2 \text{ (+420kJ/mol)}.$$

Concomitent se degajă o mare cantitate de căldură (reacţia exotermică) care serveşte pentru realizarea procesului de topire al pieselor. Se poate spune că suprafaţa metalului de sudat joacă rolul unui catalizator în procesul de refacere al moleculelor de hidrogen.

Sursa de sudare trebuie să aibă o tensiune de mers în gol de 250...300 V, iar curentul de sudare are valori de 15...150 A.

Electrozii de wolfram au diametre de 1...4 mm, corespunzătoare valorilor curentului de sudare. Amorsarea arcului se face prin atingerea celor doi electrozi de wolfram şi retragerea lor.

Pentru a obţine suduri de calitate, hidrogenul trebuie să aibă o puritate de minim 99,5% şi un conţinut de apă sub 25 mg la 1 m^3 de gaz.

Pentru procedeul de sudare se foloseşte drept material de adaos vergele care se introduc în baia de metal topit. Procesul de disociere face ca temperatura de sudare să crească cu 2700°C. Procedeul se pretează pentru sudarea oţelurilor nealiate şi aliate, a fontei şi a metalelor neferoase, cu excepţia magneziului cu grosimi de 1...10 mm.

Piesele se prelucrează pentru sudare cu rosturi conform sudării WIG cu utilizarea unor unghiuri ale rostului mai mari. Sudarea se poate efectua în orice poziţie, cu sau fără material de adaos. Materialul de adaos trebuie să aibă compoziţia chimică apropiată de cea a metalului de bază. Tehnica operatorie este asemănătoare cu cea corespunzătoare sudării WIG.

7.8. Tehnologia sudării în mediu de argon (WIG)

În primul rând se pregătesc rosturile pentru sudare. La grosimea tablelor până la 2,5 mm sudarea se poate realiza cu bordurarea capetelor. Tablele cu grosimi mici (0,4...4,0 mm) şi valoarea jocului dintre capetele tablelor de 0,1...0,5 mm se pot suda fără bordurare şi prelucrare a muchiilor. Tablele cu grosimea 4...12 mm se sudează cap la cap cu prelucrarea rostului în V cu unghiul de 50...70°. Jocul admisibil al rostului trebuie să fie mai mic de 1 mm.

Muchiile (capetele) pieselor care urmează să fie sudate minuţios se curăţă de lubrifianţi, umezeală, oxizi cu perii de metal, discuri abrazive,

hârtie abrazivă. Capetele pieselor din aluminiu, magneziu şi aliajele lor se supun decapării cu acizi, după ce se spală şi se usucă. Sudarea în mediu de argon se poate realiza în curent continuu şi în curent alternativ. La sudarea în curent continuu cu polaritate directă cu electrod de wolfram arcul arde stabil şi asigură formarea calitativă a cusăturii. La sudarea în curent cu polaritate inversă stabilitatea procesului scade. Electrodul de wolfram se supraîncălzeşte ce conduce la necesitatea micşorării curentului de sudare. Datorită acestui fapt productivitatea se micşorează. La sudarea în curent alternativ este necesar ca sursa de curent să aibă tensiune la mersul în gol mai avansată. Aceasta asigură stabilitatea arderii arcului şi îmbunătăţeşte procesul de sudare. Însă în legătură cu limitarea valorii tensiunii curentului, din considerente ale securităţii, se foloseşte curent de tensiune admisibilă, pe care se suprapune un curent de frecvenţă înaltă, pentru ce în circuitul de sudare se introduce un oscilator. La sudarea în curent alternativ se produce redresarea parţială a curentului datorită diferenţei de emisie a electronilor de către electrodul de wolfram şi îmbinarea sudată.

În perioadele când electrodul de wolfram este catod, emiterea electronilor este mai intensivă, conductibilitatea zonei arcului se măreşte, iar tensiunea arcului scade. Ca consecinţă se măreşte valoarea curentului de sudare. În perioada, când catod este îmbinarea care se sudează, emisia de electroni este mai puţin intensivă şi ca urmare valoarea curentului de sudare scade. Datorită acestui fapt apare o componentă a curentului continuu, care conduce la scăderea puterii calorice a arcului, considerabil îngreunează ărâmiţarea peliculei de oxizi la sudarea aliajelor aluminiului şi magneziului. Aceasta conduce la formarea defectelor interioare şi superficiale. De aceea a sudarea în curent alternativ se iau măsuri pentru lichidarea sau micşorarea omponentei curentului continuu. În acest scop în reţeaua de sudare se ntroduce consecutiv o baterie de condensare cu capacitatea de 100 mkf la ecare amper al curentului de sudare (polul pozitiv al bateriei se uneşte la lectrod). Se utilizează de asemenea racordarea în reţeaua de sudare a unei ezistenţe active, însă această măsură micşorează stabilitatea arderii arcului. e aceea în acest caz se utilizează surse de alimentare a arcului cu tensiune vansată tensiunii la mersul în gol până la 90...120 V. Consumul de argon ebuie să asigure protejarea sigură a electrodului şi băii de sudură de nfluenţa arcului atmosferic.

Se recomandă următoarele corespondenţe:

Diametrul electrodului de wolfram, mm	1,5...2	2,5...3	3,5...4	4,5...6
Diametrul duzei de ieşire, mm	5...7	7...9	9...12	12...14
Consum de argon, m^3/min	2...3	4...5	6...8	10...18

Înainte de începerea sudării este necesar de suflat cu argon furtunul şi arzătorul. Amorsarea arcului trebuie de realizat peste 3...4 secunde după transmiterea argonului în arzător. Jetul de argon trebuie să protejeze nu numai baia de sudură, dar şi partea opusă a cusăturii. Dacă accesul la partea opusă (rădăcina) a cusăturii este imposibil sau complicat, atunci se folosesc suporţi sau perne de flux.

Sudarea manuală a tablelor cu grosimi scăzute se realizează cu metoda *„stângă”*, la care arzătorul se deplasează pe cusătură din dreapta spre stânga. Tablele cu grosimi mari (mai mari de 12 mm) se sudează cu metoda *„dreaptă”* când arzătorul se deplasează de la stânga spre dreapta. Axa ajutajului arzătorului la sudarea tablelor subţiri (cu grosimea până la 4 mm) trebuie să formeze cu suprafaţa tablelor de sudat un unghi de 60...90°. Bara de adaos se introduce în zona arcului sub un unghi 5...15° către suprafaţa tablelor sudate.

La sudarea tablelor cu grosimi mari axa ajutajului arzătorului trebuie să fie aproape perpendiculară către suprafaţa tablelor de sudat. Lungimea arcului la sudarea în argon constituie 1,5...2,5 mm la lungimea capătului electrodului de wolfram ieşit în afară în limitele de 6...12 mm. Arcul trebuie stins lent, mărind distanţa dintre capătul electrodului şi piesele sudate (zona arcului). Alimentarea cu argon a zonei arcului trebuie de sistat numai peste 10...15 secunde după stingerea arcului, ca să fie protejat metalul cusăturii de acţiunea aerului până la solidificare.

7.9. Sudarea în mediu de azot

La sudarea cuprului şi a unor tipuri de oţeluri inoxidabile pentru protejarea zonei arcului se poate folosi azotul. Azotul este inert faţă de aceste materiale.

Sudarea cu flacără în mediu de azot se realizează cu electrozi din cărbune sau din grafit. De utilizat electrozi din wolfram nu este raţional, fiindcă la suprafeţele utile ale lor se formează nitruri de wolfram, care sunt fuzibile la temperaturi joase şi ca consecinţă electrozii rapid se uzează. Sudarea în mediu de azot cu electrozi din cărbune se realizează la tensiunea de 22...30 V. Sudarea se efectuează în curent continuu cu polaritatea directă. Diametrul electrodului constituie 6..8 mm la un curent de 150...500 A. Consumul de azot constituie 3...10 l/min. Instalaţia de sudare în medii de azot este analogică instalaţiei de sudare în mediu de argon. Arzătorul trebuie să fie dotat cu capete schimbabile pentru fixarea electrozilor din cărbune.

Capitolul 8

TEHNOLOGII DE SUDARE ALE METALELOR

8.1. Tehnologia sudării oţelurilor carbon

Componenţa şi proprietăţile oţelurilor. Oţel se numeşte aliajul fierului cu carbonul, care conţine până la 2% de carbon. În dependenţă de componenţa chimică oţelul poate fi *oţel carbon* şi *oţel aliat*. Oţelurile carbon se împart în oţeluri cu conţinut redus de carbon (conţine carbon până la 0,25%), oţeluri cu conţinut mediu de carbon (conţine carbon de la 0,25 până la 0,6%) şi oţeluri cu conţinut ridicat de carbon (conţine carbon de la 0,6 până la 2,0%). Oţelul în componenţa căruia în afară de carbon întră şi elemente de aliere (crom, nichel, wolfram, vanadiu ş.a.), se numeşte *oţel aliat*. Deosebim oţeluri aliate: slab aliate (conţinutul sumar al elementelor de aliere, afară de carbon nu depăşeşte –2,5%), mediu aliate (conţinutul sumar al componentelor de aliere de la 2,5 până la 10%) şi înalt aliate (cu conţinut sumar al elementelor de aliere mai mare de 10%). Elementele de aliere introduse în componenţa oţelurilor, îmbunătăţesc calitatea lor, avansează proprietăţile mecanice, scade pragul de fragilitate la rece, ce creează posibilităţi de micşorare a masei construcţiei.

Conform microstructurii deosebim oţeluri perlitice, martensitice, austenitice, feritice şi cu carbură. Conform procedeului de producţie deosebim oţeluri:

a) de calitate obişnuită (conţinut de carbon până la 0,6%) şi conţinut avansat de siliciu (0,05 până la 0,12%);

b) de calitate medie (oţel carbon sau oţel aliat), care conţine fosfor şi sulf nu mai mult de 0,04% (de fiecare element aparte);

c) de calitate superioară (oţel carbon sau oţel aliat), în care conţinutul de sulf şi fosfor nu depăşeşte 0,030 şi 0,035% corespunzător. Oţelul de calitate superioară are puritate avansată şi se înseamnă cu litera A după însemnarea mărcii oţelului.

Conform destinaţiei deosebim oţeluri de construcţie, constructive(pentru construcţia de maşini), pentru scule şi oţeluri cu proprietăţi fizice deosebite.

8.2. Sudabilitatea materialelor

Sudabilitatea sau comportarea materialelor la sudare este proprietatea tehnologică a metalului (materialului) şi a componentelor acestuia de a forma în procesul sudării, îmbinări care ar corespunde cerinţelor constructive şi de exploatare prescrise ansamblului sudat. Ca regulă, cerinţele constructive şi de exploatare, prescrise îmbinărilor sudate, sunt determinate de proprietăţile materialelor îmbinate. De aceia, deseori, prin sudabilitate se subînţelege posibilitatea materialelor de a forma în

procesul sudării, îmbinări, care nu ar ceda după proprietăţi componentelor sudate.

În linii generale, sudabilitatea materialelor este o proprietate complexă şi ea este cu atât mai reuşită, cu cât este mai mare numărul metodelor de sudare, care ar putea fi aplicate la realizarea îmbinării acestor materiale, cu cât este mai larg domeniul parametrilor (regimurilor), care asigură cerinţele necesare îmbinării sudate din materialul dat.

Sudabilitatea este determinată de componenţa şi proprietăţile fizice ale materialului supus sudării. În plan general, materiale nesudabile nu există. Însă, cu cât este mai scăzută sudabilitatea, cu atât tehnologia de sudare este mai complicată şi cu atât mai multe măsuri auxiliare trebuie de executat pentru a obţine îmbinarea sudată calitativă.

Sudabilitatea oţelurilor carbon. Sudabilitatea oţelurilor carbon este bună. Tehnologia sudării manuale cu arc electric a oţelurilor carbon trebuie să asigure un complex concret de cerinţe, care include:

- asigurarea siguranţei şi durabilităţii construcţiei sudate;
- asigurarea echirezistenţei (rezistenţei egale) îmbinării sudate cu metalul de bază şi lipsa defectelor în cusătură.

Proprietăţile mecanice ale metalului cusăturii şi a zonei influenţate termic nu trebuie să fie mai scăzute decât limitele inferioare ale proprietăţilor materialului de bază.

În unele cazuri, realizarea construcţiei permite micşorarea unor indicatori ai proprietăţilor mecanice a îmbinărilor sudate. Însă, întotdeauna şi mai ales la sudarea construcţiilor de rezistenţă, în cusăturile sudate nu se permit fisuri, pori, muşcături, suduri nepătrunse. De asemenea, este necesar ca dimensiunile geometrice ale cusăturilor sudate să corespundă cerinţelor prescrise. Îmbinarea sudată trebuie să opună rezistenţă trecerii metalului cusăturii în stare fragilă. Deseori îmbinărilor sudate li se impun cerinţe speciale: capacitatea de funcţionare la vibraţii, sarcini cu şoc, temperaturi înalte sau scăzute.

Tehnologia sudării manuale trebuie să asigure nu numai productivitatea maximală şi eficienţa economică a procesului de sudare, dar şi siguranţa în funcţionare necesară construcţiei.

Proprietăţile mecanice ale materialului cusăturii depind de structura lui, determinată de componenţa chimică, regimurile de sudare şi de asemenea de prelucrarea termică anterioară şi ulterioară.

Componenţa chimică a metalului cusături la sudarea manuală a oţelurilor carbon se deosebeşte de componenţa metalului de bază. Deosebirea constă în micşorarea conţinutului de carbon în metalul cusăturii cu scopul evitării formării structurilor cu caracter călibil la viteze mari de răcire. Micşorarea rezistenţei materialului cusăturii este provocată de micşorarea conţinutului de carbon. El se elimină cu alierea metalului

cusăturii prin sârmă electrod sau înfăşurărilor electrozilor cu elemente de mangan, siliciu, iar la sudarea oţelurilor slab aliate – din contul trecerii acestor elemente din materialul de bază.

Manganul introdus în oţel ridică rezistenţa, fragilitatea şi asigură sudabilitatea satisfăcătoare a lui. Oţelurile cu mangan permit realizarea îmbinărilor sudate cu o rezistenţă avansată, care pot suporta sarcini alternative şi dinamice (de şoc).

Introducerea în oţelurile slab aliate a cuprului (0,3...0,4%) avansează rezistenţa metalului la coroziune.

Compoziţia chimică a metalului cusăturii depinde de partea participării metalului de bază şi de adaos la formarea metalului cusăturii sudate şi interacţiunea dintre metal, zgură şi gaze. Mărirea vitezei de răcire a metalului cusăturii contribuie la avansarea rezistenţei lui, însă în acest caz se micşorează proprietăţile plastice şi rezistenţa lui. Viteza de răcire a metalului cusăturii se determină în primul rând de grosimea metalului sudat, tipul îmbinării, regimul de sudare şi temperatura iniţială a componentelor care urmează să fie sudate.

Influenţa vitezei de răcire în măsură mai mare se manifestă la sudarea manuală cu arc electric a îmbinărilor unghiulare între primul şi ultimul strat în cusăturile multistrat cap la cap şi în unghi la depunerea ultimelor straturi pe straturile reci executate prealabil. Metalul cusăturilor cu multe straturi datorită influenţei ciclului termic repetat al sudării are o structură cu granulaţie fină şi ca consistenţă, posedă o temperatură critică joasă de trecere în stare fragilă.

8.3. Pregătirea metalului pentru sudare

Pregătirea metalului constă în îndreptare, curăţare, trasare şi asamblare.

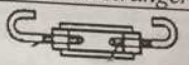
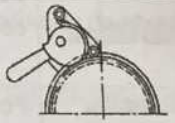
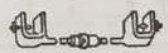
Tablele şi barele de metal se îndreaptă la rece pe maşini de îndreptat table sau la valţuri şi prese. Metalul deformat considerabil se îndreaptă la cald. Transferul dimensiunilor pieselor cu mărimea naturală de pe desen pe metal se numeşte *trasare*. Trasarea se realizează cu instrumente universale: riglă, ruletă, echer, trasor. Mai repede şi mai simplu trasarea se realizează cu şabloane, executate din tablă subţire de metal.

La pregătirea componentelor de sudare se realizează tăierea pieselor. Pentru sudare deseori se foloseşte pregătirea (tăierea) termică a capetelor (rosturilor). Tăierea prin aşchiere este raţional de utilizat la sudarea pieselor de acelaşi fel (producţia de serii), cel mai des cu secţiuni dreptunghiulare. Deseori tăierea oxiacetilenică, mai ales mecanizată, se îmbină cu teşirea muchiilor (pentru îmbinările cap la cap). După tăierea termică uneori se execută prelucrarea mecanică pentru scoaterea stratului superficial cementat.

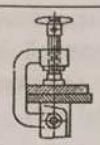
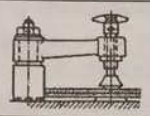
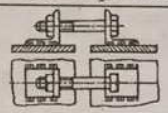
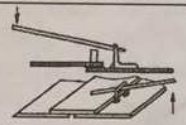
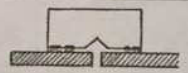
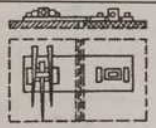
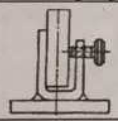
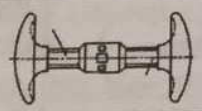
8.4. Asamblarea pieselor care urmează să fie sudate

Volumul de muncă al asamblării pieselor, care urmează să fie sudate constituie la 30% din volumul de muncă la executarea îmbinării. Pentru micşorarea timpului asamblării şi de asemenea pentru ridicarea preciziei ei se folosesc diferite dispozitive (tabelul 8.1).

Tabelul 8.1. *Dispozitive combinate pentru asamblarea şi fixarea pieselor prin sudare*

Dispozitiv	*Schema dispozitivului*	*Domeniile de utilizare*
1. De strângere		
Întinzător manual cu filet pentru apropierea muchiilor pieselor sudate		Pentru asamblarea construcţiilor şi pieselor din table, benzi, profile
Inel de strângere pentru apropierea manuală a muchiilor componentelor sudate		Pentru asamblarea cilindrilor, virolelor, ţevilor cu diametre mari
Brăţară flexibilă cu excentric de strângere		Pentru asamblarea cusăturilor transversale ale cilindrilor, virolelor; mecanismul de strângere poate fi în formă de bandă, lanţuri
Mecanism cu filet pentru întindere – distanţiere manuală		Pentru asamblarea cusăturilor din table ale rezervoarelor, cazanelor, ţevilor
Mecanism manual (cârlig sau rangă) pentru apropierea muchiilor		Pentru asamblarea construcţiilor mari din tablă
2. De fixare		
Mecanism de fixare universal cu pană. Mecanism manual pentru fixarea şi centrarea pieselor		Pentru asamblarea construcţiilor din tablă: cilindrice, conice, plane, rezervoare, cuptoare
Scoabă înclinată, manuală pentru strângerea pieselor		Pentru asamblarea pieselor din table şi din profile
Scoabă manuală arcuită		Pentru montarea virolelor scurte, pieselor din metal profilat

Tabelul 8.1. *(continuare)*

Clemă cu şurub, rabatabilă		Pentru asamblarea pieselor de orişice profil
Clemă rotitoare cu şurub		Pentru asamblarea şi fixarea pieselor de diferite forme
3. De prindere		
Corniere de prindere cu şurub		Pentru asamblarea construcţiilor mari din table
Scoabă de prindere cu rangă		Pentru construcţii, îmbinate cu suprapunere în învoieli de montaj
Pieptene de prindere a componentelor		Pentru montarea construcţiilor mari din table
Şaibe de prindere cu plăci şi pene		Pentru asambalarea pieselor cu dimensiuni limitate în construcţii de maşini
4. Sprijine		
Scoabă de sprijin cu şurub		
Mecanism de sprijin dintr-o parte		Pentru asamblarea profirelor grinzilor şi altor construcţii
Sprijin dintr-o parte		Pentru asamblarea construcţiilor la locurile de montaj permanent utilate
Distanţier manual cu şurub		Pentru asamblarea virolelor cilindrice
Distanţier cu suprafeţe înclinate		Pentru montarea pieselor în construcţia de maşini

Asamblarea (montarea) poate fi realizată cu următoarele metode:

- montarea completă a ansamblului cu toate piesele componente cu sudarea următoare a tuturor cusăturilor;
- unirea pe rând a pieselor la partea sudată a ansamblului – când prima metodă este imposibil de utilizat;
- asamblarea prealabilă a ansamblurilor din care este format fabricatul, cu asamblarea şi sudarea următoare a fabricatului din ansambluri, acest procedeu se utilizează la fabricarea construcţiilor mari şi complicate (vagoane, poduri).

Pentru asamblarea şi sudarea coloanelor, montanţilor, stâlpilor cu secţiuni complicate şi de asemenea construcţiilor din table cu grosimea mai mare de 18 mm se utilizează dispozitive, care permit unele deplasări reciproce ale elementelor construcţiei la contracţia metalului cusăturilor.

Dispozitivele pot fi destinate numai pentru asamblarea pieselor, pentru sudare sau numai pentru sudarea pieselor asamblate preventiv. Se utilizează de asemenea şi dispozitive de asamblare – sudare combinată. Unele construcţii ale dispozitivelor de asamblare – sudare sunt prezentate în tabelul 8.2.

Pentru asamblarea construcţiilor din table sunt comode standuri electromagnetice, care fixează poziţia necesară a marginilor (capetelor) tablelor (fig. 8.1).

Pe standuri electromagnetice pot fi asamblate şi sudate table cu grosimea până la 15 mm. Neajunsul dispozitivelor electromagnetice constau în influenţa negativă a câmpului magnetic asupra arcului în procesul sudării.

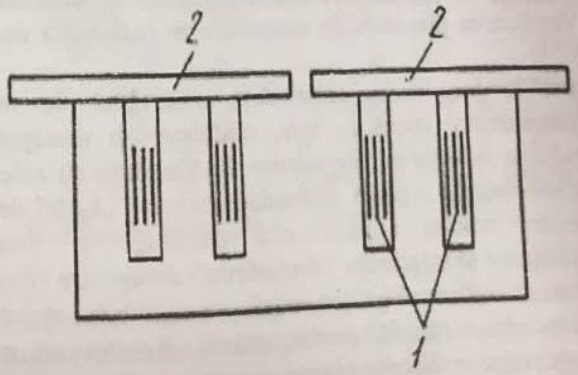
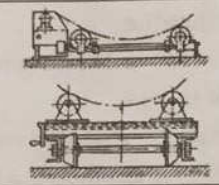
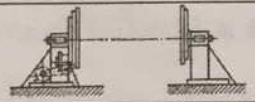
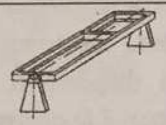
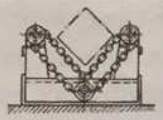
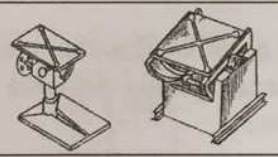


Fig. 8.1. *Stand magnetic: 1 - electromagneţi; 2 – tablele de sudat*

***Tabelul 8.2.** Dispozitive rotative pentru asamblare şi sudare*

Dispozitiv	*Echipament*	*Domenii de utilizare*
Reazeme cu role: a- staţionare; b- deplasabile; (manuale sau mecanice)		Pentru sudarea ansamblurilor cu masă mare: cilindri, ţevi ş.a.
Cântuitor		Universal pentru sudarea ansamblurilor cu masa de 2-12t
Stand rotativ		Pentru sudarea ansamblurilor mari şi rotirea la 360^0 (vagoane, ferme)
Cântuitor cu lanţ		Pentru sudarea ansamblurilor mari cu diferite forme complicate
Manipulatoare: a- manual; b- mecanic		Pentru sudarea pieselor mici şi mijlocii în producţia de masă

La fabricarea în serii mari a construcţiilor sudate asemănătoare se utilizează dispozitive speciale de asamblare cu mecanisme pentru centrarea şi strângerea pieselor, care urmează să fie sudate. La aceşti conductori se realizează asamblarea şi prinderea (cu sudură) a pieselor, după acesta fabricatul se eliberează de conductor şi se transmite în secţie sau la standul de sudare. Verificarea preciziei de asamblare se realizează cu şabloane şi sonde (fig. 8.2).

Deseori la terminarea asamblării, ansamblul se instalează în dispozitive mecanizate (stand cu role, cântuitor sau manipulator pentru sudare). Standurile cu role sunt compuse din reazeme cu role conduse şi conducătoare montate pe o placă de fundaţie comună. Astfel de standuri se utilizează pentru rotirea ansamblurilor cilindrice în timpul sudării cordoanelor circulare şi mişcărilor (deplasărilor) de aşezare (fixare) (tabelul 8.2). Cântuitorii se utilizează pentru rotirea ansamblurilor sudate cu scopul aşezărilor în poziţia comodă pentru sudare. Aceştia se montează la mecanismele de rotire în diferite planuri şi permit sudarea ansamblului într-o poziţie spaţială prescrisă.

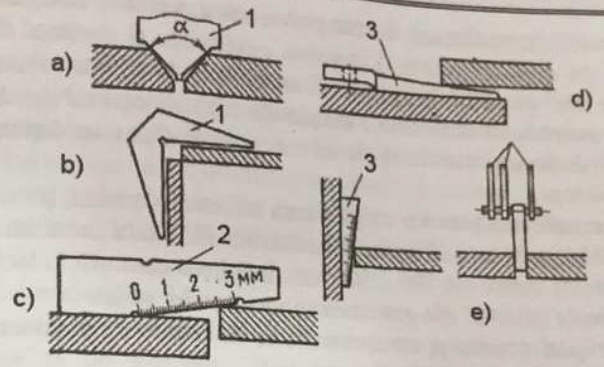


***Fig. 8.2.** Dispozitive pentru verificarea calităţii îmbinări: a – unghiului de deschidere a rostului; b – unghiului drept; c, d – jocuri dintre table (la sudarea prin suprapunere); e – jocul la sudarea cap la cap şi în „T": 1 – şablon; 2 – şablon cu diviziuni; 3 – sondă-şablon; 4 – set de sonde.*

Dispozitivele de poziţionare permit sudarea ansamblului într-o poziţie stabilită şi se utilizează pentru sudarea unui tip de ansambluri. Manipulatoarele se utilizează pentru asamblarea mai multor tipuri de ansambluri şi sudarea fiecărui din ele se realizează în diferite poziţii.

În figura 8.3 sunt prezentate schemele de utilizare a unor dispozitive universale pentru fixarea reciprocă a componentelor de sudat înainte de sudare. În producţia de masă şi serii mari, pentru sudarea unui număr de ansambluri identice, se utilizează dispozitive de montaj speciale şi specializate şi bucşe de ghidare pentru asamblare – ghidare dotate cu mecanisme rapid acţionate şi sigure.

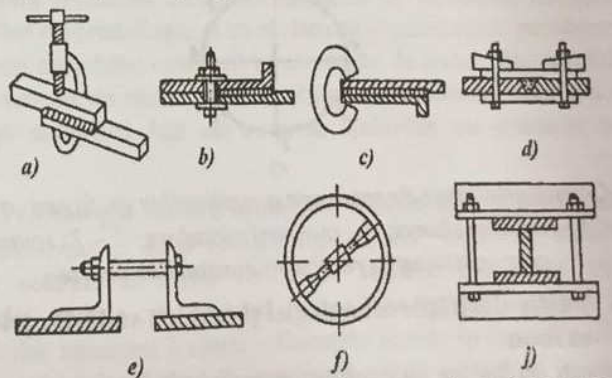


***Fig. 8.3.** Dispozitive universale pentru fixarea reciprocă a componentelor destinate sudării: a – clemă cu şurub; b – dispozitiv de strângere; c – clemă de fixare; d – clemă cu pene de strângere; e– dispozitiv de strângere şi distanţare cu şurub; f – dispozitiv de distanţare; j – dispozitiv de fixare cu şuruburi*

Deseori se realizează fixarea provizorie a pieselor, care urmează să fie sudate cu cusături scurte. Lungimea cusăturilor şi distanţa dintre ele depinde de felul ansamblului, grosimea metalului şi lungimea cusăturii.

La asamblarea îmbinărilor simple din table de oţel subţiri, lungimea cusăturilor (de fixare) trebuie să fie nu mai mare de 5mm, iar distanţa dintre ele 50 – 100 mm.

La asamblarea pieselor cu grosimea mai mare de 3 mm şi cu lungime considerabilă a cusuturii, lungimea cusăturilor de fixare constituie 20...30 mm, iar distanţa dintre ele 300 – 500 mm. Înălţimea cusăturii în locul fixării trebuie să fie de 0,5...0,7 din grosimea componentelor sudate.

Principiul comun şi consecutivitatea de fixare a componentelor cu cusături scurte este prezentat în figura 8.4.

Prinderea provizorie prin sudare, numită şi haftuire, se execută cu aceleaşi materiale şi tehnologii ca şi sudarea propriu-zisă. Ea constă din depunerea unor rânduri de sudură scurtă.

Înainte de sudare prinderile provizorii se curăţă până la luciul metalic şi se verifică. După aceasta se realizează sudarea propriu zisă a componentelor.

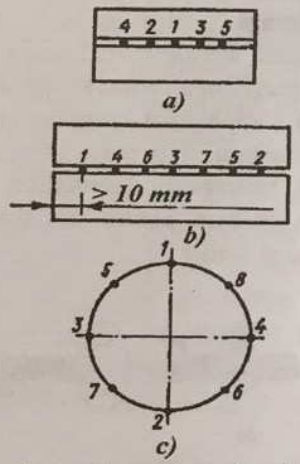


Fig. 8.4. Consecutivitatea de realizare a cusăturilor de fixare: a – cusături scurte; b – cusături lungi; c – cusături circulare; 1 – 7: numerele şi consecutivitatea realizării cusăturilor scurte.

8.5. Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor carbon

Sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon. Aceste oţeluri au sudabilitate bună. La alegerea tipului şi mărcii electrodului pentru sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon trebuie să ne conducem de următoarele cerinţe:

- asigurarea echirezistenţei (rezistenţei egale) a cusăturii sudate cu metalul de bază;
- realizarea cusăturilor sudate fără defecte;
- asigurarea compoziţiei chimice necesare a materialului cusăturii;
- asigurarea siguranţei şi durabilităţii îmbinărilor sudate în condiţii de vibraţii şi sarcini de şoc la temperaturi înalte şi scăzute.

Pentru sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon se folosesc electrozi de mărcile: OMM-5, CM5, CM11, KP3 – 32P, OMA – 2 ş. a. (tabelul 8.3).

Sudarea oţelurilor cu conţinut mediu de carbon. Aceste oţeluri conţin o cantitate avansată de carbon, care poate produce la sudare, fisuri de cristalizare şi de asemenea structuri cu plasticitate scăzută în zona influenţată termic a metalului de bază. De aceea pentru avansarea rezistenţei metalului cusăturii contra formării fisurilor de cristalizare este necesar de micşorat cantitatea de carbon în metalul cusăturii. Aceasta se realizează prin utilizarea electrozilor cu conţinut scăzut de carbon şi de asemenea prin micşorarea cotei de participare a metalului de bază în metalul cusăturii.

Pentru a micşora probabilitatea de apariţie a fisurilor structurilor de călire, este necesar de realizat încălzirea prealabilă a piesei de sudat. O metodă sigură de atingere a echirezistenţei (rezistenţei egale) a îmbinării sudate cu conţinut scăzut de carbon este alierea adăugătoare a metalului cusăturii cu mangan şi siliciu.

Pentru sudarea oţelurilor cu conţinut mediu de carbon se utilizează electrozi УОНИ -13/45, УП – 1/45, ОЗС -2, К5А, УОНИ -13/65 ş. a. (tabelul 8.4). Pentru sudarea construcţiilor iresponsabile din oţeluri slab aliate se folosesc electrozi Э42 А, iar pentru construcţii responsabile – Э50 А, care asigură formarea metalului cusăturii cu rezistenţa necesară contra creării fisurilor de cristalizare şi cu rezistenţă şi plasticitate prescrise.

Alierea metalului cusăturii cu elemente de aliere din metalul de bază şi creşterea vitezei de răcire permite obţinerea metalului cusăturii cu indici de rezistenţă superiori faţă de sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon.

8.6. Tehnologia sudării oţelurilor călibile slab şi mediu aliate

Componenţa şi proprietăţile oţelurilor. Oţelurile slab aliate au sensibilitate scăzută la ciclul termic al sudării. De aceea cu reglarea regimului de sudare şi ciclului termic se poate asigura obţinerea particularităţilor necesare a zonei influenţate termic în timpul sudării. Acest efect este legat în primul rând de conţinutul scăzut de carbon în oţel, iar în al doilea rând de nivelul scăzut de aliere. În oţelurile slab aliate conţinutul carbonului nu depăşeşte 0,25%, iar al elementelor de aliere (în sumă) – 4%.

Deseori pentru fabricarea diferitor construcţii în construcţia de

maşini se folosesc oţeluri carbon şi oţeluri slab aliate, în care conţinutul de carbon este majorat faţă de conţinutul de carbon în oţelurile de construcţii de uz general cu un conţinut scăzut de carbon şi slab aliate. De aceea cu prelucrarea termică corespunzătoare a acestor oţeluri se poate atinge o mărire a rezistenţei acestor oţeluri. Rezistenţa acestor oţeluri depinde de regimul de tratament termic.

Conţinutul de carbon în ele este 0,25...0,5%, la alierea sumară 3...4%. La această grupă de oţeluri se atribuie: 35Х, 40Х, 35Г2, 40Г2, 50Г2, 30ХГТ, 30ХГНА, 30ХГСА ş.a. Conform sensibilităţii către ciclul de termodeformaţie (deformaţie termică) în această grupă pot fi incluse şi oţelurile 30, 35, 40, 45, 50 şi de asemenea oţelurile termostabile 20М, 20ХМ, 30ХМА, 30ХМЮА, 25Х1М1Ф ş.a.

Conţinutul avansat de carbon şi de elemente de aliere cauzează înclinaţia acestor oţeluri la călirea bruscă în timpul sudării. De aceea aceste oţeluri posedă sensibilitate avansată la ciclul termic al sudării. După sudare ZIT este călită şi nu posedă sensibilitate avansată la toate regimurile de sudare, deşi se asigură formarea satisfăcătoare a cusăturii.

În scopul micşorării vitezei de răcire a ZIT la sudarea acestor oţeluri se execută încălzirea prealabilă a construcţiei care urmează să fie sudată. Încălzirea permite obţinerea de către zona ZIT a structurii, care posedă rezervă de plasticitate destulă pentru evitarea formării fisurilor datorită ciclului de deformaţii termice la sudare.

La oţelurile, care se călesc în timpul sudării se atribuie de asemenea oţelurile termostabile, slab şi mediu aliate. Aceste oţeluri timp îndelungat îşi păstrează rezistenţa la funcţionarea în condiţii de temperaturi avansate (450...580°C), evaluată la limita de curgere şi rezistenţa îndelungată.

Termostabilitatea acestor oţeluri le-o asigură elementele de aliere (molibdenul, cromul, vanadiul ş. a.). La aceste oţeluri se atribuie 15М, 20ХМ, 12Х1МФ, 15ХМ1Ф, 15Х2МФБ, 12Х5МА, 20Х2МА ş.a.

Formarea cusăturii şi zonei de lângă cusătură. La confecţionarea vaselor de presiune înaltă, fabricatelor responsabile din construcţia de maşini, construcţiilor metalice se folosesc oţelurile mediu aliate de înaltă rezistenţă. Aceste oţeluri după tratamentele termice corespunzătoare posedă o rezistenţă temporară 1000...2000 MPa, având şi o limită înaltă de plasticitate. Aceste oţeluri conţin carbon până la 0,5%, iar elemente de aliere 5...9%, având o sensibilitate avansată la ciclul termic de sudare, datorită conţinutului ridicat de carbon. Acest nivel de aliere la conţinutul dat de carbon practic la orişice viteză de răcire a zonei de lângă cusătură, asigură formarea îndestulătoare a cusăturii. Preîncălzirea componentelor de sudat nu micşorează viteza de răcire a metalului zonei de influenţă termică şi conduce la creşterea granulelor.

Tabelul 8.3. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon*

Marca electrodului	*Coeficient de topire, G/A·h*	*Stabilitate a arcului*	*Consum de electrozi la 1 kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea curentului, A*			*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, °C*
					Poziţia sudării				
					orizontală	*verticală*	*peste cap*		
ОММ – 5	7,2	Înaltă	1,8	2	60...70	50...60	60...70	Continuu	150
				3	100...130	80...110	90..120		
				4	160...190	130...150	140...160		
				5	200...220	150...170	-		
СМ – 5	7,2	Înaltă	1,8	4	160...190	130...160	140...170	Continuu	150
				5	200...220	150...170	-		
ЦМ – 7	10,6	Înaltă	1,8	4	160...190	130...150	140...160	Continuu, alternativ	200
				5	210...250	140...160	-		
				6	260...320	-	-		
ОМА – 2	0,0	Înaltă	1,5	2	25...45	20...45	20...45	Continuu, alternativ	100
				2,5	40...60	35..60	40..60		
				3	50....80	40..80	50...80		
УОНИ – 13/45	8,5	Satisfăcătoare	1,6	2	45...65	30...40	30...45	Continuu	100
				3	80...100	60...80	70...90		
				4	130...160	100...130	120...140		
				5	170...200	140...160	150...170		
СМ 11	9,5	Satisfăcătoare	1,45	4	160...220	140...180	140...180	Continuu, alternativ	100
				5	200...250	160...200	-		

Tabelul 8.4. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor cu conţinut mediu de carbon*

Marca electrodului	*Coeficient de topire, g/A·h*	*Stabilitatea arcului*	*Consum de electrozi la 1kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodu-lui, mm*	*Valoarea curentului, A*			*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, ^0C*
					Poziţia sudării				
					orizontală	*verticală*	*peste cap*		
УП – 2/45	10	Satisfăcătoare	1,6	4	140...160	140...160	140...160	Continuu, alternativ	300...350
				5	150...250	160...210	-		
ОЗС - 2	8,5	Satisfăcătoare	1,6	3	80...100	60...80	60...80	Continuu	250...300
				4	130...150	120...140	120...140		
				5	170...200	150...170	-		
УОНИ - 13/55	8,5	Satisfăcătoare	1,7	3	80...100	60...80	70...90	Continuu	350
				4	130...160	100...130	120...140		
				5	170...200	140...160	150...170		
				6	210...240	180...210	-		
К – 5А	9,0	Satisfăcătoare	1,7	4	140...200	110...160	120...180	Continuu, alternativ	350
				5	220...280	-	-		
				6	310...380	-	-		
УОНИ - 13/65	9,0	Satisfăcătoare	1,7	3	80...100	60...80	60...80	Continuu	400
				4	130...150	90...110	100...120		
				5	170...200	-	-		
				6	210...240	-	-		

Creşterea granulelor, la rândul său conduce la scăderea capacităţii de deformare şi apariţia fisurilor la rece. De aceea aceste oţeluri se sudează fără preîncălzire, dar cu utilizarea unor procedee tehnologice speciale, care asigură avansarea temporizării aflării metalului sudat şi ZIT, în intervalul de temperaturi mai jos de temperatura critică. Timpul de aflare a ZIT în intervalul acestor temperaturi se măreşte prin realizarea sudării pe porţiuni alternative, sudarea în „*cocoaşă*", sudarea în „*cascadă*" ş. a. Uneori se folosesc construcţii speciale pentru încălzirea cusăturii sudate mărirea temporizării aflării ei în intervalul de temperaturi stabilit.

Specificul ciclului termic la sudarea în mai multe straturi constă în aceia, că căldura primului şi următoarelor straturi nu permite metalului ZIT să se răcească mai jos de o temperatură anumită. După realizarea stratului al doilea şi următoarelor starturi ZIT se răceşte mult mai încet, decât după sudarea unui singur strat.

8.7. Sudabilitatea oţelurilor călibile slab şi mediu aliate

În scopul asigurării siguranţei în exploatarea îmbinărilor sudate, este necesar, ca cusăturile sudate să posede rezistenţa necesară şi plasticitate înaltă. Alierea metalului cusăturii din contul metalului de bază, care se sudează, permite avansarea proprietăţilor cusăturii sudate până la nivelul necesar, însă partea de participare a metalului de bază în metalul cusăturii şi nivelul de aliere depinde de regimul sudării şi a altor procedee tehnologice.

Rezistenţa tehnologică necesară a cusăturilor sudate se poate obţine cu următorul conţinut al elementelor de aliere în metalul cusăturii slab aliat (în %): 0,15 C; 0,5 Si; 1,5 Mn; 1,5 Cr; 2,5 Ni; 0,5 V; 1,0 Mo; 0,5 Nb. Astfel, combinând elementele de aliere în aceste limite se pot obţine cusături sudate cu rezistenţă temporară până la 600...700 MPa (după sudare) şi 850...1450 MPa după tratamentul termic.

La sudarea oţelurilor slab aliate de rezistenţă avansată nu se impun cerinţe privind identitatea compoziţiei chimice a metalului cusăturii şi metalului de bază. În acest caz criteriul alegerii materialelor de sudare este obţinerea proprietăţilor mecanice garantate a cusăturii sudate (care sunt prevăzute de GOST 9467 - 75).

La sudarea cu arc electric a oţelurilor mediu aliate călibile de înaltă rezistenţă, se aleg aşa materiale de sudat, care asigură obţinerea cusăturilor cu capacitate înaltă de deformare şi cantităţi minimale de hidrogen în baia de metal topit. Aceasta se asigură prin utilizarea electrozilor din metale slab aliate cu conţinut scăzut de hidrogen, fără substanţe organice în învelişuri şi supuşi preîncălzirii la temperaturi înalte. În aşa fel la realizarea sudării manuale cu arc electric, trebuie adoptate măsuri pentru excluderea surselor de saturaţie a băii topite cu hidrogen (umezelii, ruginii, murdăriilor organice etc.).

Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor slab aliate. Forma pregătirii rosturilor pentru sudarea manuală cu arc electric se realizează conform GOST 5264 – 80. Pentru sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor slab aliate se utilizează electrozii Э5ОА – Э85, iar pentru oţeluri slab aliate şi rezistente la căldură – electrozi de tipul ЭМ – ЭХ5МФ, în dependenţă de compoziţia chimică a oţelului de sudat.

Pentru sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor mediu aliate de înaltă rezistenţă se folosesc electrozi ЭФ – 2Г6, ЭА – 3М6 (GOST 10052 - 75).

Dacă oţelul înainte de sudare a fost călit (normalizarea sau călirea cu revenire), iar după sudare – revenire pentru detensionarea şi egalizarea proprietăţilor mecanice ale îmbinării sudate cu metalul de bază, atunci criteriul determinării temperaturii încălzirii prealabile este viteza de răcire, în timpul căreia se realizează călirea zonei de lângă cusătură, dar se garantează lipsa fisurilor nu numai în procesul sudării, dar şi până la realizarea tratamentului termic ulterior.

Dacă oţelul înainte de sudare a fost supus tratamentului termic, iar după sudare nu se poate realiza revenirea din cauza dimensiunilor construcţiei, atunci acest oţel poate fi folosit pentru confecţionarea acestei construcţii numai în cazul, când nu se impun cerinţe dure privind echirezistenţa îmbinării sudate şi metalului de bază supuse la sarcini statice. Pentru obţinerea proprietăţii îmbinării sudate, care ar garanta capacitatea de funcţionare necesară, indicele temperaturii necesare de preîncălzire va fi diapazonul vitezelor de răcire, care asigură nivelul necesar de proprietăţi în zona de lângă cusătură.

Cu electrozi austenici se poate suda fără preîncălzire, însă în acest caz trebuie de reglementat timpul de la momentul terminării sudării până la realizarea tratamentului termic a construcţiei sudate.

8.8. Sudarea oţelurilor de construcţii slab aliate şi mediu aliate

Sudabilitatea acestor oţeluri depinde de conţinutul de carbon şi componentele de aliere. Cu creşterea conţinutului de carbon şi a elementelor de aliere sudabilitatea oţelului se înrăutăţeşte. Oţelurile siliciu – mangan 15ГС, 18Г2С şi 25Г2С se sudează cu electrozi de tipul Э60 А de marca УОНИ 13/65. înainte de sudare muchiile (rosturile) pieselor de sudat minuţios se curăţă de murdării, rugină, calamină. Sudarea se realizează cu arc scurt. Componentele înainte de sudare se încălzesc până la temperatura de 200°С. Electrozii înainte de sudare se calcinează la o temperatură de 400°С în decurs de o oră. Oţelurile siliciu – mangan – cupru 10Г2CD, 10ХГСНD, 15ХСНD şi 12ХГ se sudează cu electrozi de tipul Э50 А de marca УОНИ -13/55 fără preîncălzirea componentelor de sudat.

8.9. Sudarea oţelurilor aliate pentru construcţia de maşini

Oţel – crom 15Х se sudează cu electrozi УОНИ -13/85 cu arc scurt fără preîncălzire şi tratament termic. Oţelul crom – molibden 15ХМ se sudează cu electrozi ЦЛ – 14 cu încălzirea prealabilă a componentelor de sudat până la temperatura de 250...300° С şi revenire înaltă la 710° С. Oţelul 30ХМ se sudează cu electrozi ЦЛ – 30 – 63 cu încălzirea prealabilă a componentelor de sudat până la 350°С şi revenirea ulterioară la temperatura de 600°С.

Oţelurile crom – siliciu – mangan 20ХГСА, 25ХГСА, 30 ХГСА, 30 ХГСНА se sudează cu electrozi ЦЛ – 18 – 63 sau НИАТ – 3М cu arc scurt. După sudare îmbinarea se tratează termic la rezistenţă înaltă: călire la temperatura 880°С şi revenire joasă. Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea unor oţeluri aliate pentru construcţia de maşini sunt prezentate în tabelul 8.5.

8.10. Sudarea oţelurilor termostabile

La oţeluri termostabile se atribuie 12МХ, 20МХЛ, 34ХМ, 20Х3МВФ, 20ХМФ, Х5М, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, 15ХМФКР, 112Х2МФБ, 15Х5МФА, Х5ВФ, 06Х13, Х17, 1Х13 ş. a.

Componentele din oţel 12МХ şi 20МХЛ, care funcţionează la temperaturi până la 550° С, se sudează cu electrozi ЦЛ – 14. Sudarea se realizează cu încălzirea prealabilă a componentelor până la 250...300° С din oţel 20МХЛ şi până la 200° С din oţel 12МХ. După sudare se recomandă revenirea înaltă la temperatura de 710°С. Oţelul 12МХ se poate de asemenea suda cu electrozi ГЛ – 14, dacă ansamblul funcţionează la temperaturi până la 520°С. Încălzirea şi revenirea sunt aceleaşi, ca şi la folosirea electrozilor ГЛ – 14.

Fabricatele din oţeluri 34ХМ şi 20Х3ВФ, care funcţionează la temperaturi până la 470° С se sudează cu electrozi ЦЛ – 30 – 63. Sudarea se realizează cu preîncălzirea până la 350° С şi menţinerea temperaturii pentru oţel 34ХМ şi până la 400...450° С pentru oţel 20Х3ВФ. Îmbinările sudate se supun revenirii: oţelul 34ХМ – la temperatura de 600°С, iar oţelul 20Х3ВФ – la temperatura de 680°С.

Fabricatele din oţeluri 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф, care funcţionează la temperaturi până la 570° С, se sudează cu electrozi ЦЛ – 20 – 63 cu arc scurt cu preîncălzirea fabricatului până la 300...350° С. După sudare se realizează revenirea înaltă la temperatura de 700...740° С cu temporizare de 3 ore.

Fabricatele din oţeluri 15ХМФКР şi 112Х2МФБ, care funcţionează la temperaturi până la 600° С, se sudează cu electrozi ЦЛ – 26М – 63 cu arc scurt cu preîncălzire şi menţinerea temperaturii până la 350...400° С, iar după sudare se realizează revenirea înaltă la temperatura de 740...760° С.

Fabricatele din oţeluri X5M şi 15X5MΦA, care funcţionează în medii agresive la temperaturi până la 450° C, se sudează cu electrozi ЦЛ – 17 – 63 cu preîncălzire (şi menţinerea temperaturii) până la 300...450°C, timp de 3 ore. Fabricatele din oţeluri X5BΦ, 06X13 şi X17 se sudează cu electrozi СЛ16. Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor termostabile sunt prezentate în tabelul 8.6.

8.11. Tehnologia sudării oţelurilor cu conţinut ridicat de crom, feritice, martensitice şi feritice– martensitice

Compoziţia şi proprietăţile oţelurilor. Cromul îi transmite aliajului de fier unele particularităţi specifice. Dacă fierul conţine 12% de crom, atunci pelicula superficială, care apare la oxidarea suprafeţei se pasivează. *Pasivarea* metalelor constă în transformarea suprafeţei în stare pasivă, pe care brusc scade procesul de coroziune.

Pentru asigurarea stabilităţii antiarsurilor (exfolieri) la temperaturi de 800...1050°C, conţinutul de crom în oţel trebuie să fie majorat până la 30% (după masă). Rezistenţa oţelurilor la coroziune în diferite medii agresive depinde de concentraţia cromului în oţeluri, care poate fi diferită.

Oţelurile înalt aliate cu crom (10,5...12% Cr), cu molibden, wolfram, niobiu, vanadiu şi nichel, posedă rezistenţă avansată la fluaj (curgere lentă), la funcţionarea sub tensiune, la temperaturi avansate. Aceste oţeluri se folosesc ca refractare (rezistente la temperaturi înalte) la exploatare la temperaturi până la 600° C.

Oţelurile cu conţinut sporit de crom, care se află în stare feritică, la temperaturile mai mari de 1150° C, tind spre creşterea rapidă a granulelor, ce conduc la micşorarea capacităţii de deformare.

Conform influenţei cromului şi carbonului în reţeaua cristalină (la temperaturi de cameră) oţelurile aliate cu crom după structură se împart în martensitice, feritice şi martensistice – feritice.

La concentraţii mici a carbonului (0,05...0,06%), oţelurile cu conţinut până la 12...13% de crom se atribuie la clasa martensitică, cu conţinut de crom 13...16% - la clasa martensitică – feritică, iar dacă conţinutul de crom mai mare de 16% (Cr >16%)- la clasa feritică.

Sudabilitatea oţelurilor cu crom şi proprietăţile îmbinărilor sudate în mare măsură depind de clasa, la care se atribuie oţelul care se sudează. Sudabilitatea oţelurilor martensitice – feritice practic este apropiată de cea a oţelurilor din clasa martensitică.

Tabelul 8.5. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea unor oţeluri aliate*

Marca electrodi	*Coeficient de topire, g/A·h*	*Stabiliatea arcului*	*Consum de electrozi la 1kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea curentului, A*		*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, ^0C*
					Poziţia sudării			
					orizontală	*verticală*	*peste cap*	
УОНИ -13/85	9,5	Satisfăcătoare	1,5	3	80...100	70...80	70...90	Continuu	370
				4	130...160	90... 120	100...140		
ЦЛ– 14	10,5	Înaltă	1,6	4	160...180	120...160	120...160	Continuu, alternativ	200
				5	200...240	-	-		
ЦЛ – 30/ 63	10,4	Satisfăcătoare	1,7	4	140...160	120...140	-	Continuu	350
				5	180...210	-	-		
ЦЛ – 18 – 63	8,5	Satisfăcătoare	1,8	4	130...160	120...140	120...130	Continuu	350
				5	180...210	-	-		
НИАТ – 3М	10	Satisfăcătoare	1,6	2,5	60...100	-	-	Continuu	300...450
				3,0	90...130	-	-		
				4,0	150...180	-	-		

Formarea cusăturii şi a zonei de lângă cusătură. La sudarea oţelurilor din clasa martensitică, deseori la rece se formează fisuri. Cauzele formării fisurilor la rece sunt:

- duritate avansată şi posibilităţi scăzute de deformare a metalului cu structură martensitică;
- apariţia deformaţiilor la sudare;
- acţionarea îndelungată a temperaturilor înalte şi tensiunilor structurale în îmbinarea sudată după sudare;
- prezenţa hidrogenului în metalul cusăturii.

La sudarea oţelurilor martensitice creşterea rigidităţii pieselor sudate măreşte probabilitatea formării fisurilor. Aceasta se manifestă într-o măsură mai mare, când metalul topit posedă posibilitate de deformare mai scăzută.

Posibilitatea de deformare mai scăzută are acel metal călit, care conţine o cantitate mai mare de carbon. De exemplu, sudarea în mediu de bioxid de carbon fără preîncălzire a componentelor cu rigiditate scăzută nu provoacă fisuri (crăpături) la grosimea metalului la oţeluri 08X13 – până la 18mm, 12X13 – până la 12 mm, 20X13 – până la 10 mm.

Formarea fisurilor la sudare se elimină cu utilizarea preîncălzirii şi menţinerii componentelor sudate la o anumită temperatură. Pentru oţeluri aliate cu crom din clasele martensitică şi martensitică – feritică se utilizează preîncălzirea totală sau locală a componentelor până la temperatura 200...450° C. Temperatura de preîncălzire creşte cu avansarea tendinţei oţelului spre călire, care se măreşte cu creşterea conţinutului de hidrogen în oţel şi rigidităţii componentelor. Este raţional de încălzit componentele de sudat mai jos de temperatura care favorizează avansarea fragilităţii şi de limitat temperatura de menţinere a materialului la o valoare mai scăzută, de exemplu, pentru oţel 08X13 aşa temperatură este 100...120° C. Limita superioară de încălzire trebuie mărginită la trecerea oţelului la fragilizare şi la fragilitatea la albastru, care este în limitele de 200...250° C.

La menţinerea materialului la o anumită temperatură, în timpul sudării în multe structuri, este foarte periculoasă răcirea bruscă a componentelor, care poate duce la formarea crăpăturilor. De aceea pentru îmbunătăţirea structurii şi proprietăţilor metalului este necesară o revenire înaltă. Însă, tratamentul termic nu se realizează aparte de sudare.

Dacă, după sudare se răceşte imediat ansamblul sudat până la temperatura mediului ambiant, atunci în metal se formează o structură martensitică. Dacă, după această realizăm o revenire înaltă, atunci metalul capătă o structură bună sorbitică. Însă în timpul răcirii la temperatura mai joasă de 110°C şi menţinerea piesei până la începutul tratamentului termic, în îmbinările sudate pot apărea crăpături cu ieşire la suprafaţă şi rupturi interioare cu dimensiune de 1...4 mm, care cu timpul se pot dezvolta.

Tabelul 8.6. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor termostabile*

Marca electrod	*Coeficient de topire, g/A·h*	*Stabilitatea arcului*	*Consum de electrozi la 1kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea curentului, A*			*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, °C*
					Poziţia sudării				
					orizontală	*verticală*	*peste cap*		
ГЛ-14	8	Îndestulătoare	1,5	3	100...120	80...110	80...110	Continuu	300...350
				4	160...180	130...160	30...100		
				5	200...220	-	-		
ЦЛ- 20-63	10,3	Îndestulătoare	1,6	4	140...160	110...130	-	Continuu	300...350
				5	180...210	-	-		
ЦЛ-26М-63	10,5	Înaltă	1,6	3	110...130	100...120	100...120	Continuu	300...350
				4	160...180	140...160	140...160		
ЦЛ-17-63	10,5	Îndestulătoare	1,6	3	80...120	70...90	70...100	Continuu	300...350
				4	130...160	130...150	130...150		

8.12. Sudabilitatea oţelurilor cu conţinut ridicat de crom

Oţelurile feritice cu conţinut ridicat de crom (conţin 13% Cr) şi conţinut scăzut de carbon (la nivelul inferior de carbon în oţel 08X13), unele oţeluri cu conţinut scăzut de carbon şi 17% de crom cu componente de titan şi molibden (de exemplu 12X17, 08X17T, 08X17M2T) şi de asemenea cu 25...30% Cr (15X25T), se caracterizează prin înclinaţie la creşterea granulelor la tratamente termice la temperaturi înalte. Creşterea granulelor poate surveni datorită căldurii de la sudare în ZIT şi metalului cusăturii. Când granulele sunt mari (structură grosolană), aceste oţeluri pierd plasticitatea şi vâscozitatea chiar şi la temperaturi scăzute. Dacă titanul lipseşte sau se găseşte în cantităţi scăzute încălzirea acestor oţeluri mai sus de 950°C şi răcirea lor rapidă conduce la înrăutăţirea rezistenţei la coroziune şi apariţia înclinaţiei spre coroziunea intercristalină. Plasticitatea şi rezistenţa la coroziune a metalului de bază şi îmbinărilor sudate se îmbunătăţesc la realizarea revenirii (la 760...780° C).

La sudarea manuală cu flacără se utilizează electrozi, care permit obţinerea metalului cusăturii, după compoziţie asemănător cu metalul de bază sau asigurarea obţinerii metalului cusăturii cu structură austenitică sau mai bună austenitică – feritică, uneori cu conţinut mare de fază feritică. Fragilitatea legată cu macrogranulaţia, prezintă pericol nu numai pentru ZIT, dar şi pentru metalul îmbinării sudate. Ea poate fi micşorată cu utilizarea electrozilor de sudare, care asigură compoziţia metalului cusăturii, care la răcire în timpul sudării nu permite obţinerea structurii feritice curate, dar cu un conţinut de structură martensitică. Aceasta se atinge prin introducerea în metalul cusăturii a carbonului, azotului, nichelului şi manganului (la conţinutul cromului în oţel nu mai mare de 18%). Regimul de tratament termic se alege în dependenţă de proprietăţile metalului cusăturii, călit la sudare.

Cusăturile austenice – feritice se obţin, cu utilizarea electrozilor, care asigură metalul cu crom, nichel, mangan. În acest caz trebuie de avut în vedere şi participarea la formarea cusăturii şi metalului de bază.

Formarea cusăturii şi a zonei de lângă cusătură. Hidrogenul, care se dizolvă la sudare în metalul lichid măreşte tendinţa către formarea crăpăturilor la rece în metalul fragil al cusăturilor şi zonelor de lângă cusături. De aceea la sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor cu conţinut mare de crom nu se permite utilizarea electrozilor, învelişurile cărora conţin îmbinări organice. Pentru sudare se utilizează electrozi cu învelişuri care conţin în calitate de componente de protecţie gazoasă carbonaţi (marmură).

În acest caz se formează zguri cu conţinut de calciu, care asigură înlăturarea din baie a fosforului şi sulfului. Sulful şi fosforul sunt impurităţi dăunătoare. În oţeluri înalt aliate cu crom dauna este mai mare decât în oţeluri carbon. Influenţarea oxidantă a fazei gazoase (CO_2 în produsele de descompunere) a acestor electrozi se stabilizează prin conţinutul de dezoxidanţi în baza metalică sau în învelişul electrodului.

Pentru micşorarea absorbţiei hidrogenului la sudarea manuală electrozii înainte de sudare se calcinează la temperaturi de 450...500°C, timp de 2 ore. Sudarea trebuie realizată cu curent continuu cu polaritate inversă.

Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării. Oţelurile X25T şi X28 se sudează cu electrozi ОЗЛ – 6, dacă îmbinările sudate se vor exploata la temperaturi de 1150°C (în medii fără bioxid de sulf). Sudarea se realizează cu arc electric scurt. Rosturile trebuie să fie prelucrate numai prin metode mecanice. Conţinutul fazei feritice se reglementează de la 2,5 pînă la 10%.

Oţelurile X23H18, X25T şi X28 se sudează cu electrozi ЦЛ – 25, dacă îmbinările sudate se vor exploata la temperaturi mai înalte de 850°C. Sudarea se realizează în rânduri cu lăţimea nu mai mare de trei diametre ale electrodului. Conţinutul fazei feritice se reglementează de la 3 până la 9%.

Oţelurile X25T, X28, X23H13, X23H18, care funcţionează la temperaturi 900...1100° C, se sudează cu electrozi ОЗЛ – 4. Sudarea se realizează cu arc electric scurt. Rosturile se prelucrează numai prin metode mecanice. Conţinutul fazei feritice se reglementează de la 2,5 până la 8%.

Oţelurile X23H18, X23H13, care se află în exploatare în medii oxidante şi de carbonizare la temperaturi 900...1050° C, se sudează cu electrozi ОЗЛ – 9А. La sudarea acestor oţeluri sunt posibile fisuri în craterul sudării. Cusăturile sudate sunt stabile contra coroziunii intercristaline.

Oţelurile X20H14C2, X25H20C2, funcţionează la temperaturi de până la 1050° C şi se sudează cu electrozi ГС – 1 (primul start). Rezistenţa la temperaturi înalte a metalului topit este până la 1150°C.

Oţelurile X20H14C2, X25H20C2, care funcţionează la temperaturi 900...1100° C, se sudează cu electrozi ОЗЛ, rosturile se pregătesc numai prin metode mecanice. Cusăturile sudate sunt rezistente contra formării fisurilor la cald. Oţelul 20XH14C2 se poate de asemenea suda cu electrozi ЦТ – 17 cu depunerea cusăturilor de lăţime mică (nu mai mare decât diametrul electrodului).

Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor rezistente la temperaturi înalte sunt prezentate în tabelul 8.7.

***Tabelul 8.7.** Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor rezistente la temperaturi înalte*

Marca electrod	*Coeficient de topire, G/A·h*	*Stabilitatea arcului*	*Consum de electrozi la 1kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodu-lui, mm*	*Valoarea curentului, A*		*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, ^0C*
					Poziţia sudării			
					orizontală	*verticală*	*peste cap*	
ОЗЛ – 6	11,5	Satisfăcătoare	1,6	2,0	30...50	25...40	25...40	Continuu	300
				2,5	40...70	35...60	35...60		
				3,0	60...80	55...75	55...75		
				4,0	120...140	90...120	90...120		
ЦЛ – 25	10,5	Satisfăcătoare	1,8	3,0	80...100	70...90	70...90	Continuu	350...400
				4,0	110...140	90...120	90...120		
ОЗЛ – 4	12	Satisfăcătoare	1,43	2,0	30...50	25...40	25...40	Continuu	300
				2,5	40...70	35...60	35...60		
				3,0	60...80	55..75	55...75		
				4,0	110...130	90...120	90...120		
ОЗЛ – 9А	13,5	Bună	1,5	3,0	70...90	50...80	50...80	Continuu	300
				4,0	110...130	90...110	90...110		
ОЗЛ – 5	12,5	Satisfăcătoare	1,46	3,0	60...80	55...75	55...75	Continuu	300
				4,0	110...130	90...120	90...120		
				5,0	140...160	-	-		
ЦТ – 17	10,5	Satisfăcătoare	1,9	3,0	60...80	70...90	70...90	Continuu	350...400
				4,0	110...130	100...125	95...115		

8.13. Tehnologia sudării oţelurilor şi aliajelor austenitice înalt aliate

Compoziţia şi proprietăţile oţelurilor şi aliajelor. În oţelurile austenitice înalt aliate elementele principale de aliere sunt cromul şi nichelul (ca regulă nu mai jos de 16 şi 7% corespunzător).

Elementele de aliere îi atribuie oţelului structura şi proprietăţile necesare. Pentru comoditate, deseori oţelurile înalt aliate se înseamnă în corespondenţă cu conţinutul elementelor de aliere principale cu cifre, de exemplu 18 – 8, 25 – 30 etc.

Prima cifră înseamnă conţinutul de crom, iar a doua – de nichel (în %).

Nichelul este un metal deficitar şi costisitor, de aceea, când condiţiile de funcţionare a construcţiei permit, trebuie de utilizat oţeluri cu conţinut scăzut de nichel sau în genere cu crom, dar fără nichel.

Oţelurile şi aliajele înalt aliate posedă rezistenţă la temperaturi joase, rezistenţă la temperaturi înalte, rezistenţă la uzură şi stabilitate la căldură. Aceste metale şi aliaje se utilizează în industria energetică, petrolieră şi la confecţionarea construcţiilor, care funcţionează în diferite diapazoane de temperaturi, de la negative până la pozitive.

Aceste oţeluri şi aliaje se pot diviza în trei grupe:

1. rezistente la coroziune;
2. rezistente la temperaturi înalte (termorezistente);
3. stabile la încălzire (termostabile).

Oţelurile înalt aliate posedă proprietăţi mecanice înalte la temperaturi joase şi de aceea ele se folosesc în unele cazuri şi ca oţeluri fragile la rece.

La alierea corespunzătoare şi tratament termic oţelurile termorezistente posedă rezistenţă la coroziune la temperaturi obişnuite şi la temperaturi avansate până la 800°C, precum în mediu atmosferic aşa şi în medii gazoase, în soluţii acide şi bazice.

Aceste oţeluri se deosebesc prin conţinutul scăzut de carbon (mai mic de 0,12% C), care asigură influenţă hotărâtoare la stabilitatea lor contra coroziunii intergranulare. De aceea aceste oţeluri se utilizează pentru fabricarea conductelor şi aparatelor industriei chimice şi petroliere.

Oţelurile termorezistente (refractare) şi aliajele lor posedă capacitate de a păstra proprietăţile sale mecanice înalte la temperaturi avansate un timp îndelungat. Pentru atribuirea acestor proprietăţi oţelurilor şi aliajelor, ultimele se aliază cu elemente de aliere – durificare: molibden şi wolfram (până la 7% de fiecare). Un element important, introdus în unele aliaje este borul.

Oţelurile şi aliajele înalt aliate după tratamentele termice

corespunzătoare posedă proprietăţi avansate de duritate şi plasticitate. La călire aceste oţeluri capătă plasticitate avansată.

Oţelurile înalt aliate au structură variată, care depinde de compoziţia chimică, adică de conţinutul elementelor de aliere: crom (feritizator) şi nichel (austenitizator). La structura metalului acţionează de asemenea şi alte elemente feritizatoare (Si, Mo, Ti, Al, Nb, W, V) şi austenitizatoare (C, Co, Ni, Cu, Mn, B, N).

Elementele titan, niobiu, wolfram, vanadiu formează carburi, deci în oţel se pot forma nu numai carburi de crom, dar şi a altor elemente (TiC, NbC, VC), de aceea carbonul liber mai sus de nivelul de solubilitate (0,02%) se poate separa, nu în formă de carbură de crom, dar în formă de carburi de titan sau niobiu. Aceasta ridică capacităţile de rezistenţă şi micşorează proprietăţile de plasticitate ale oţelului.

Sudabilitatea oţelurilor şi aliajelor înalt aliate. Sudabilitatea oţelurilor înalt aliate este dificilă din cauza alierii lor cu multe elemente şi de asemenea din cauza diversităţii învoielilor de exploatare a construcţiilor sudate (rezistenţa la uzură, termostabilitate, termorezistenţă). Complicitatea sudării acestor oţeluri constă în prevenirea cristalizării fisurilor la cald, care au caracter intercristalin şi se vizionează în formă de microrupturi şi fisuri. Fisurile la cald se formează la tratamentele termice şi la funcţionarea ansamblurilor sudate la temperaturi avansate. Fisurile la cald mai des se formează în structuri macrogranulare ale metalului cusăturii, mai ales în cusături cu multe straturi, când cristalele stratului următor prelungesc cristalele stratului precedent. Se folosesc metode, care înlesnesc mărunţirea cristalelor şi subţie straturile dintre cristale, şi ca consecinţă, avansează rezistenţa cusăturii contra formării fisurilor la rece. Una din aceste metode este obţinerea cusăturilor, care ar avea în structură o cantitate oarecare de δ – ferită. Această acţiune a feritei în cusăturile austenito - feritice pentru prevenirea formării în ele a fisurilor la cald este legată de caracterul procesului de cristalizare primară a metalului băii de sudură.

Elementele care contribuie la feritizarea metalului, exercită şi influenţă asupra eliminării sulfului din baia de sudură. Formarea cusăturilor austenito – feritice poate fi atinsă cu alierea adăugătoare a metalului băii de sudură cu elemente creatoare de ferită, aşa ca cromul, siliciu, molibdenul, aluminiul ş.a. În fabricatele care funcţionează ca rezistente la coroziune la temperaturi de 400° C, se permite un conţinut de ferită în cusăturile sudate până la 20...25%. În cusăturile sudate ale oţelurilor rezistente la temperaturi înalte (care funcţionează la temperaturi înalte) este posibilă formarea δ – fazei cu înrăutăţirea corespunzătoare a proprietăţilor cusăturii sudate, de aceea în aşa cusături se limitează conţinutul de ferită la 4...5%.

8.14. Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor înalt aliate

Sudarea oţelurilor şi aliajelor înalt aliate (rezistente la temperaturi înalte şi la coroziune). Îmbinărilor sudate din oţeluri şi aliaje înalt aliate afară de cerinţele faţă de limita de rezistenţă şi plasticitate se impun şi alte cerinţe, care se determină de destinaţia construcţiei şi proprietăţile metalului sudat. Aceste cerinţe sunt:

- pentru oţelurile (inoxidabile) rezistente la coroziune – posibilitatea să opună rezistenţă coroziunii intercristaline, coroziunii fluide, coroziunii sub tensiune;
- pentru oţelurile rezistente la arsuri – posibilitatea să opună rezistenţă formării arsurilor şi coroziunii gazoase intercristaline;
- pentru oţelurile termostabile (refractare) – asigurarea rezistenţei îndelungate, opunerii fluajului, stabilitatea microstructurii, rezistenţă fragilizării la acţionarea îndelungată a temperaturilor şi sarcinilor avansate, şi sensibilitate scăzută către muşcături, tăieturi, arsuri şi exfolieri.

Complicaţiile principale la sudarea oţelurilor şi aliajelor înalt aliate sunt: asigurarea rezistenţei îmbinărilor sudate contra formării fisurilor de cristalizare, a rezistenţei la coroziune şi menţinerea proprietăţilor îmbinărilor sub acţiunea temperaturilor şi tensiunilor prescrise.

8.15. Sudarea oţelurilor rezistente la coroziune

La oţelurile rezistente la coroziune se atribuie: OX18H10, OX18H10T, X18H10T, X18H9, X18H9T, OX18H12T, OX18H12Б, 1X21H5T, 1X16H13Б, X18H12T ş. a.

Oţelurile OX18H10, OX18H10T şi X18H10T se sudează cu electrozi O3Л – 14, dacă metalului cusăturii i se impun cerinţe de rezistenţă contra coroziunii intercristaline, sudarea cu aceşti electrozi asigură în cusătura sudată conţinutul fazei feritice de la 6 până la 10%.

Oţelurile X18H9, X18H9T se sudează cu electrozi O3Л – 8, dacă metalului cusăturii i se impun cerinţe de rezistenţă contra coroziunii intercristaline sau dacă îmbinarea sudată se va exploata la temperatură până la 350°C (în lipsa mediilor agresive de la 253 până la 800°C). Conţinutul fazei feritice de la 3,5 până la 8,5%.

Oţelurile X18H10T, X18H9T, OX18H12T, OX18H12Б, 1X21H5T, 1X16H13Б se sudează cu electrozi ЦЛ – 11, dacă metalului cusăturii i se impun cerinţe dure de rezistenţă contra coroziunii intercristaline. Conţinutul fazei feritice în cusăturile sudate se asigură de la 2,5 până la 7%.

Oţelul X18H12T se sudează cu electrozi ЦТ–15–1 (rădăcina cusăturii). Îmbinarea sudată se va exploata la temperaturi de 600...650°C şi

presiuni înalte. Conţinutul fazei feritice în cusăturile sudate se asigură de la 5,5 până la 9%.

Oţelurile X18H10T, X18H9T se sudează cu electrozi ЭИО3, dacă cusăturile sudate se exploatează la temperaturi până la 560° C sau dacă se impun metalului cusăturii cerinţe de rezistenţă contra coroziunii intercristaline. Conţinutul fazei feritice în cusătura sudată constituie de la 2,5 până la 5%. Proprietăţile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor rezistente la coroziune sunt prezentate în tabelul 8.8.

8.16. Sudarea oţelurilor şi aliajelor refractare (rezistente la temperaturi înalte)

La această grupă de oţeluri se atribuie 1X16H14B2БР, 1X16H16B2МБР, 1X14M14B2M, 4X14H14B2M, 1X16H13M2Б, X18H12T, X23H13, X23H18, XH35BT ş. a.

Oţelurile 1X16H14B2БР şi 1X16H16B2МБР se sudează cu electrozi ЦТ–16–1. Craterele se sudează cu circuite scurte ale electrodului. Aceste oţeluri se sudează cu electrozi ЦТ–16–1, dacă fabricatul (construcţia sudată) se va exploata la temperaturi până la 700° C.

Oţelurile 1X14M14B2M şi 4X14H14B2M, care funcţionează la temperaturi până la 600° C se sudează cu electrozi ЦТ –1. Cusăturile sudate sunt rezistente contra formării fisurilor la cald.

Oţelurile 1X14H14B2M, 1X16H13M2Б, X18H12T, care funcţionează la temperaturi până la 620°C. Aceste oţeluri se sudează cu electrozi ЦТ –7. Fisurile la cald din cusăturile sudate se elimină cu conţinutul fazei feritice în cusătură de la 2 până la 5%. După sudare se utilizează recoacerea la 750...800° C cu temporizarea de 10 ore.

Oţelurile X23H13, X23H18, care funcţionează la temperaturi până la 1050°C, se sudează cu electrozi O3Л – 9. Pregătirea rosturilor se realizează numai mecanic. La sudarea multistraturi cusăturile se sudează cu electrozi O3Л – 9 peste strat de sudură realizat cu electrozi O3Л – 4, O3Л – 5, O3Л – 6 sau ГС – 1.

Aliajele pe bază de fieronichel XH35BT se sudează cu electrozi КТИ – 7-62. Caracteristicile tehnice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor şi aliajelor refractare (termorezistente) sunt prezentate în tabelul 8.9.

Tabelul 8.8. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor*

Marca electrod	*Coeficient de topire, g/A·h*	*Stabilitatea arcului*	*Consum de electrozi la 1kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea curentului, A*		*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, °C*
					Poziţia sudării			
					orizontală	*verticală*	*peste cap*	
O3Л – 14	11	Bună	1,6	3	50...70	40...60	40...60	Continuu, alternativ	200...250
				4	120...140	80...120	90...120		
O3Л –8	13	Satisfăcătoare	1,6	3	60...80	50...70	120...160	Continuu	270
				4	110...130	70...110	70...110		
O3Л – 11	12,5	Satisfăcătoare	1,8	3	70...90	60...80	60...80	Continuu	320...350
				4	110…130	80...110	-		
ЦТ – 15 – 1	12	Satisfăcătoare	1,6	3	80...110	70...90	70...90	Continuu	350...450
				4	120...140	90...110	90...110		
ЗИО – 3	12,5	Satisfăcătoare	1,55	3	80...100	70...90	70...90	Continuu	300...320
				4	110...130	110...120	100...120		

Tabelul 8.9. *Caracteristicile tehnologice ale electrozilor pentru sudarea oţelurilor şi aliajelor refractare*

Marca electrodului	*Coeficient de topire, g/A·h*	*Stabilitatea arcului*	*Consum de electrozi la 1 kg metal topit, kg*	*Diametrul electrodului, mm*	*Valoarea curentului, A*			*Tipul curentului*	*Temperatura calcinării electrozilor, ^0C*
					Poziţia sudării				
					orizontală	*verticală*	*peste cap*		
ЦТ – 16– 1	11	Satisfăcătoare	1,49	3	80...100	70...90	70...90	Continuu	350...450
				4	110...140	90...125	90...125		
ЦТ – 16 1	10,5	Satisfăcătoare	1,49	3	80...100	-	-	Continuu	350...450
				4	110...140	-	-		
ЦТ –1	13	Satisfăcătoare	1,59	3	80...110	70...100	-	Continuu	350...450
				4	130...150	115...135	-		
ЦТ – 7	12	Satisfăcătoare	1,86	3	80...110	-	70...100	Continuu	350...400
				4	100...140	-	105...125		
КТИ –7– 62	11,2	Satisfăcătoare	1,6	2,5	65...75	-	-	Continuu	300...350
				3	80...100	-	-		
				4	110...130	-	-		

8.17. Sudarea fontelor

Fontele sunt aliaje fier – carbon, în care conţinutul de carbon depăşeşte 2%. Cele mai răspândite mărci de fontă conţin 2,5...4,5% de carbon, 1,0...4,5% de siliciu, 0,2...1,5% mangan şi de asemenea sulf şi fosfor.

În funcţie de modul de prezentare a carbonului, fontele se împart în: fonte cenuşii, la care carbonul este liber în formă de grafit; fonte albe, la care carbonul se află exclusiv legat; fonte pestriţe – care sunt fonte albe cu carbonul parţial grafitizat.

După forma sub care se prezintă grafitul în structură se deosebesc: fonte cu grafit lamelar; fonte cu grafit nodular; fonte cu grafit în cuiburi; fonte maleabile – la care grafitul se formează printr-un tratament termic de recoacere.

Structura fontelor este determinată de compoziţia chimică a lor şi de viteza de răcire la solidificare. Pentru a obţine o grafitizare a carbonului este necesară răcirea fontei cu viteză mică. Cu creşterea vitezei de răcire, fonta se solidifică preferenţial ca fontă albă. Elementele de aliere pot favoriza sau frâna grafitizarea carbonului. Din acest punct de vedere, elementele pot fi împărţite în:

- elemente grafitizate - C, Si, AL, Co, Cu, Ti;
- elemente antigrafitizante – Mn, Sn, V, B, Mo, W.

Fontele sunt materiale fragile. Alungirea la rupere a fontelor albe este de 0%, iar a fontelor cenuşii este cca. 1% în cazul fontelor cu grafit lamelar şi de 2...17% în cazul fontelor cu grafit nodular.

Conform metodei de confecţionare, deosebim semifabricate turnate din fontă obişnuită şi semifabricate turnate din fontă modificată. Conform compoziţiei chimice fontele pot fi nealiate şi aliate. Structura fontei depinde de viteza de răcire şi de conţinutul de carbon şi elemente de aliere (fig. 8.5).

Carbonul în fontă se află în stare chimică legat (carburile de fier în formă de ledeburită), sau în stare liberă. De aceea structura fontei depinde de cantitatea de carbon, care se află în stare legată şi poate fi perlito – grafitică , ferito – grafitică sau ferito – perlito – grafitică .

Fonta, baza căreia este fierul, conţine următoarele elemente chimice: carbon, siliciu, mangan şi elemente de aliere ca cromul, nichelul, molibdenul ş.a.

Mărirea conţinutului de carbon în aliajul fier – carbon (Fe - C) provoacă scăderea temperaturii de topire şi avansarea fluidităţii lui. Aceasta este una din cauzele principale, care creează imposibilitatea de sudare a fontei în poziţiile spaţiale. Carbonul în fontă provoacă eliminarea grafitului liber, ce conduce la diminuarea proprietăţilor mecanice ale fontei.

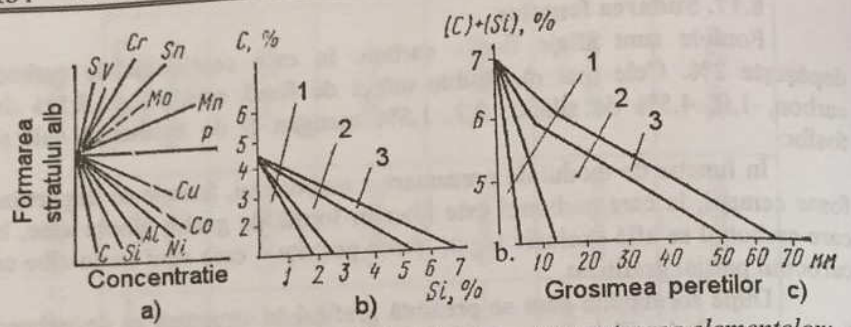


Fig. 8.5. *Dependenţa structurii fontei de: a – concentrarea elementelor; b – conţinutul de carbon şi siliciu; c – grosimea pereţilor (vitezei de răcire) şi conţinutul sumar de carbon şi siliciu în fontă: 1 - fontă albă (călită superficial), 2 – fontă perlitică, β - fontă feritică*

Siliciul în fier pur se dizolvă până la 14,3%. El diminuează stabilitatea carburilor şi provoacă eliminarea grafitului liber. Mărirea conţinutului de siliciu în fontă micşorează contracţia fontei la solidificare din contul majorării cantităţii de grafit eliminat. Cu cât este mai mare conţinutul de siliciu, cu atât mai mare este cantitatea de grafit liber.

Manganul, molibdenul, sulful, cromul, vanadiul îngreunează formarea grafitului. Manganul cu fierul formează soluţii de orice concentraţie, care posedă o mare afinitate către sulf, carbon, oxigen, sulfură de mangan (II) (MS). Manganul serveşte ca stabilizator de carbură. La mărirea conţinutului de mangan creşte contracţia fontei şi metalul capătă înclinaţie spre formarea fisurilor.

Sulful cu fierul formează sulfura de fier (II) (FeS), care prezintă o substanţă dură şi fragilă. Sulfura de fier(II) cu fierul formează eutetică cu temperatura de topire 953° C. Eutetica, solidificându-se mai târziu decât metalul de bază (fonta), se separă la marginile granulelor şi provoacă formarea fisurilor la cald.

Fosforul în fier se dizolvă până la 0,3% şi formează eutetica, care prezintă o substanţă fragilă cu temperatura de topire 950...980° C. Eutetica măreşte fluiditatea fontei lichide. Avansarea fosforului în fontă măreşte fluiditatea ei.

Magneziul, serveşte ca un stabilizator al carburilor, provoacă călirea superficială a fontei. Manganul introdus în fonta lichidă provoacă eliminarea grafitului nodular.

Metode de sudare ale fontei. Sudarea fontelor este dificilă, comportarea lor la sudare fiind condiţionată de următoarele:

- producerea structurilor de călire, ca urmare a conţinutului de carbon ridicat;

- formarea, la viteze mari de răcire, a fontei albe care este dură şi fragilă;
- posibilitatea de producere a unor fisuri sub acţiunea unor tensiuni interne cauzate de procesul de sudare;
- capacitatea scăzută a metalului de a opri propagarea fisurilor;
- fluiditatea mare a băii topite, face dificilă sudarea în poziţie;
- pericolul de formare a porilor ca urmare a absorbţiei intense de gaze de către baia topită.

Sudarea fontei se utilizează în atelierele de reparaţii sau pentru executarea construcţiilor turnate – sudate. Către îmbinările sudate ale pieselor din fontă, în dependenţă de tipul şi învoielile de exploatare se impun cerinţe de rezistenţă mecanică, etanşeitate şi prelucrabilitate prin aşchiere. Asigurarea acestor cerinţe este foarte dificilă din cauza particularităţilor fizice şi chimice ale fontei.

Complicaţiile, care apar la sudarea fontei, sunt condiţionate, ca regulă, de rezistenţa scăzută a metalului îmbinării sudate la apariţia fisurilor şi prelucrabilitatea prin aşchiere scăzută.

Îmbinările pieselor de fontă între ele se realizează prin sudarea cu gaze, cu termită, prin turnare cu arc electric, cu arc electric sub strat de zgură şi prin lipire. Sudarea se poate realiza fără preîncălzire (la rece), cu preîncălzire locală şi preîncălzire totală. Pentru sudarea cu arc electric se utilizează electrozi de cărbune, grafit, oţel, oţel aliat şi metalele neferoase. Pregătirea rosturilor se realizează mecanic sau termic (cu flacără oxiacetilenică). Pentru susţinerea metalului topit a băii de sudură (fonta are fluiditate mare) se utilizează dispozitive speciale.

Componentele, pregătite pentru sudare se încălzesc (local sau total) până la temperatura de 350...450° C. Uneori pentru sudarea pieselor foarte complicate, temperatura de preîncălzire constituie 600...700° C.

Sudarea se realizează cu curent continuu sau cu curent alternativ. Valoarea curentului se alege din calculul 50...90 A la 1 mm de diametru al electrodului.

La sudarea fontelor cenuşii se impun câteva probleme:

- în condiţiile de răcire la sudare, fonta cenuşie odată topită se solidifică, sub formă de fontă albă, greu de prelucrat şi foarte fragilă;
- pentru a preîntâmpina fonta albă (ca apariţie) trebuie redusă viteza de răcire, în baia de sudură trebuie introduse elemente de grafitizare;
- la sudare cu arc electric numai la temperatura de 650...700°C se obţin rezultate bune.

Elementele grafitizate se introduc în baia de sudură sub formă de flux sau sub formă de bare de fontă, folosite drept material de adaos, cu conţinut mare de carbon şi siliciu.

La sudarea fontelor cenuşii normale, barele de fontă folosite drept

metal de adaos au 3...3,5% C, 3...3,5% Si şi 0,3...0,4% Mn.

Fonta cenuşie este casantă datorită incluziunilor de grafit care au efectul unor crestături. Fontele au temperaturi de topire scăzute şi de aceea la sudare cu bare de fontă picăturile topite ajung pe fonta rece şi se pot solidifica fără să topească metalul de bază.

Dacă în cusătură este puţin C, carbonul din fontă difuzează spre cusătură. Astfel în zona de trecere, fonta rămâne mai săracă în C şi se solidifică în formă de fontă albă. Pentru a preîntâmpina acest fenomen este necesar ca metalul depus să fie ales astfel, încât carbonul să nu difuzeze în cusătură.

Viteza de răcire este un parametru important, care împreună cu compoziţia chimică (în special conţinutul de C şi Si) determină structura sudurii (fig. 8.6).

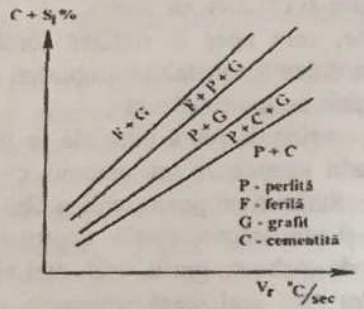


Fig. 8.6. *Influenţa elementelor (C + Si) asupra structurii sudurii funcţie de viteza de răcire v_r*

Sudarea fontei la cald constituie unicul mijloc de obţinere a unei structuri omogene în îmbinarea sudată. Sudarea se realizează cu preîncălzirea la temperaturi de 600...700° C şi răcire înceată după sudare. Piesele la locul defectului se curăţă bine, se prelucrează mecanic în vederea eliminării posibilităţii de răspândire a fisurii (fig. 8.7).

Locurile prelucrate se rotunjesc bine în vederea înlăturării posibilităţilor de apariţie a concentratorilor de tensiune. La sfârşitul traseului fisurat se execută găuri cu diametrul de 4...6 mm, sau se prelucrează cordoane scurte de sudură la extremităţi. Preîncălzirea în vederea sudării se face la temperaturi de 600...700°C, în cuptoare sau alte incinte pregătite pentru piese mai mari.

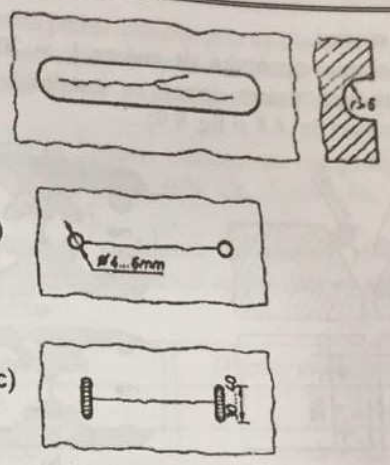


Fig. 8.7. *Pregătirea pieselor în vederea sudării: a – prin înlăturarea completă a fisurii, b – prin găurirea capetelor fisurii; c – prin consolidarea capetelor cu cordoane de sudură*

Sudarea se face cu electrozi din fontă VT – S30 cu 3...3,6% C, 6,5...8% Mn, 0,3...0,6% P şi 3...3,6% Si. Învelişul acestor electrozi din fontă conţin grafit, silicat de calciu, feromangan, sticlă solubilă etc. Sudarea se face cu curent continuu cu polaritate diferită, cu intensitatea curentului de 70...80 A pentru fiecare milimetru din diametrul electrodului. Răcirea se face lent timp de 24 ore împreună cu cuptorul. Datorită vitezelor reduse de răcire, cordonul de sudură îmbină caracteristicile mecanice sensibile cu cele ale materialului de adaos.

Acest procedeu de sudare prezintă anumite greutăţi: prelucrări pregătitoare, ciclu lung de execuţie, condiţii grele de lucru, productivitate mică.

Sudarea fontei la semicald şi la rece. Procesul se aplică la piese simple, care prezintă unele defecte la extremităţi. Sudarea se face la temperaturi de 400...450°C cu electrozi cu înveliş gros şi conţinut mare de grafit şi ferosiliciu, care asigură în baie o structură similară fontei cenuşii.

Pentru obţinerea structurii fontelor cenuşii se utilizează electrozi din fontă cu elemente grafitizante şi conţinut ridicat de magneziu pentru globulizare. Învelişul electrozilor conţine grafit, silicat de magneziu, oxid de fier, praf de aluminiu.

La sudarea fontei cu electrozi din fontă cu nichel, care conţin 2...2,3% C, 20...30% N, 1,3...6% Si, 6...7%Cu, 0,4...5% Mn, restul fier (compoziţia chimică a electrodului), se obţin structuri cu plasticitate ridicată, ceea ce permite o bună prelucrabilitate prin aşchiere. Diametrul electrozilor se limitează la 2...3 mm la primul start şi 3...4 mm la

următoarele straturi.

Intensitatea curentului de sudare I_s = 20...25 A. Pentru a spori rezistenţa îmbinării sudate deseori se instalează şuruburi de consolidare introduse în piese (fig .8.8 şi fig. 8.9).

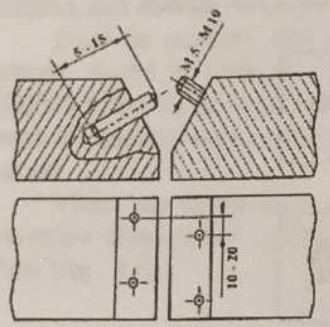


Fig. 8.8. Modul de dispunere a şuruburilor de consolidare

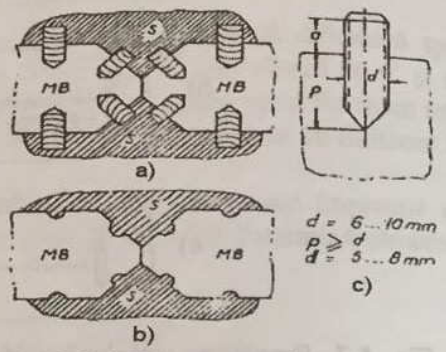


Fig. 8.9. Mărirea suprafeţei de contact între cusătura s şi metalul de bază MB la sudarea fontei cenuşii: a – cu buloane de oţel; b – cu cavităţi emisferice; c – detaliu, cu dimensiunile buloanelor

Acest sistem se adaptează pentru sudarea la rece a fontei cu electrozi din oţel – carbon, slab aliat. În acest caz primul strat prezintă structuri îmbogăţite în carbon din cauza influenţei metalului de bază.

Se pot forma structuri de călire, zone cu plasticitate redusă (fisurate). În straturile următoare scade participarea metalului de adaos, cusăturile fiind similare cu cele ale oţelirilor cu conţinut scăzut de carbon, cu plasticitate bună, însă cu o structură neomogenă în ansambluri. În funcţie de grosimea componentelor de sudat marginile sunt prelucrate în Y şi X (fig. 8.10). Sudarea se face cu un start tampon subţire, începând de jur împrejur şi se extinde pe toată suprafaţa pieselor.

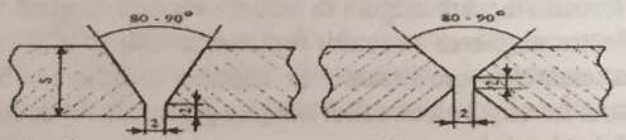


Fig. 8.10. Forme de rosturi pentru diferite grosimi de material
S < 10 mm *S > 10 mm*

Sudarea la rece a fontelor se face cu electrozi având un înveliş cu conţinut special de ferovanadiu, care asigură o dispunere fină a carburii în masa metalică, permiţând crearea unor calităţi superioare de plasticitate a

sudurilor şi ca atare o bună prelucrabilitate prin aşchiere.

Pentru evitarea participării metalului de bază în cordon, se folosesc electrozi cu diametre mici (d_l = 1…2 mm, I_s = 50…70 A, U_a = 18…21 V, V_s = 10…12 m/h).

La sudarea fontei se folosesc electrozi cu compoziţie constantă de tipul EF – MB (60...75% Ni, 27...30% Cu, 2...3% Fe, 1...2% Ni) sau constantan (60% Ni şi 40% Fe).

Ciocănirea uşoară a cusăturilor în timpul răcirii conduce la micşorarea tensiunilor interne. Diametrul electrozilor se alege în funcţie de grosimea pieselor sudate:

Grosimea piesei, mm	*Diametrul electrodului d_l, mm*
S < 5	d_l = 2,4 mm
5 < S ≤ 20	d_l = 3,2 mm
20 < S ≤ 40	d_l = 4,0 mm
S > 40	d_l = 5,0 mm

Sudarea fontei cu arc electric şi electrod de cărbune. La sudarea cu arc electric şi electrozi de cărbune sau bare de grafit ca material de adaos, servesc barele din fontă, iar pentru protecţia şi dezoxidarea băii se utilizează fluxul, care este compus din borax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$), calcinat la temperatură de 400°C. Uneori în calitate de flux se utilizează amestecuri din 23% borax tehnic, 27% praf $CaCO_3$ şi 50% $NaNO_3$.

Sudarea fontei cu electrozi din cupru şi fier. Electrozii ЦЧ – 3 şi ЦН -3А se confecţionează din sârma din fier şi nichel cu înveliş de fluorură carbonată. Aceşti electrozi se utilizează pentru sudarea fontelor de rezistenţă superioară şi a fontelor cenuşii.

Sudarea fontei cu arc electric cu electrozi din fontă austenitică cu înveliş conducător de curent electric. Aceşti electrozi sunt destinaţi sudării defectelor semifabricatelor turnate şi la reparaţia pieselor din fontă. Sudarea se realizează în curent continuu cu polaritate directă. Învelişul acestor electrozi posedă conductibilitate bună de curent electric, de acea în timpul sudării arcul arde alternativ, între miezul metalic şi componentele de sudat şi de asemenea între înveliş şi componentele de sudat.

Metode mecanizate de sudare a fontei. Deseori fonta se sudează semiautomat sau sub strat de zgură. Sudarea semiautomată se utilizează cu sârmă cu pulbere şi dă rezultate bune. Sudarea sub strat de zgură asigura proprietăţi satisfăcătoare ale îmbinării sudate din fontă cenuşie. La această metodă de sudare în calitate de electrozi se utilizează plăci din fontă. Alegerea corectă a electrozilor pentru sudarea sub strat de zgură, utilizarea fluxurilor corespunzătoare şi de asemenea răcirea îndelungată a zonei de

lângă cusătură (care este caracteristică sudării sub strat de zgură) permite obţinerea cusăturilor sudate fără zone albe, fisuri, pori şi altor defecte, care diminuează calitatea îmbinărilor sudate.

8.18. Tehnologia sudării metalelor eterogene (disimilare)

Construcţiile sudate combinate din oţeluri diferite se împart în construcţii din *oţeluri omogene* (de aceeaşi structură), sudate cu electrozi din altă clasă, construcţii din *oţeluri eterogene* (diferite structuri) şi construcţii bimetalice. Construcţiile din oţeluri omogene la rândul său se împart în ansambluri din oţeluri din una şi aceeaşi clasă structurală şi în ansambluri din diferite clase structurale. Ansamblurile sudate dintr-o clasă structurală se pot realiza din oţeluri martensitice, feritice şi martensitice – feritice de aliere diferită şi oţeluri austenitice de aliere diferită. Îmbinările sudate din oţeluri din una şi aceeaşi clasă structurală se pot utiliza pentru funcţionarea la temperaturi normale (în construcţii, ansambluri din construcţia de maşini, ansamblurile maşinilor hidraulice), la temperaturi joase (ansamblurile instalaţiilor frigorifice), temperaturi ridicate (ansamblurile maşinilor energetice, instalaţiilor nucleare), în medii agresive şi temperaturi ridicate (ansamblurile industriei petroliere şi aparaturii chimice). Ansamblurile sudate din diferite clase structurale pot de asemenea funcţiona la temperaturi normale, înalte şi în medii agresive la temperaturi ridicate.

La îmbinarea diferitor oţeluri într-un ansamblu sudat deosebim două grupe de construcţii: cu îmbinări sudate ale oţelurilor dintr-o clasă structurală, dar de aliere diferită şi îmbinări sudate ale oţelurilor din diferite clase structurale.

Înainte de sudarea oţelurilor eterogene trebuie de luat în consideraţie următoarele:

- existenţa posibilităţii de dizolvare reciprocă a elementelor, care se conţin în oţel, dacă dizolvarea reciprocă a elementelor lipseşte, atunci în acest caz se foloseşte un metal intermediar, elementele căruia au dizolvare reciprocă bună cu ambele oţeluri sudate.
- existenţa transformărilor structurale şi de faze la răcire, care conduc la apariţia fisurilor la rece.
- existenţa diferitor coeficienţi de dilatare liniară şi volumetrică a oţelurilor.

Pentru excluderea ultimelor două cazuri se utilizează preîncălzirea, menţinerea materialului la o anumită temperatură, tratamentul termic ulterior al îmbinării sudate şi de asemenea folosirea diferitor adaosuri, cu dilatarea liniară şi volumetrică apropiată de a oţelurilor, care urmează să fie sudate.

8.19. Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor eterogene (cu diferite structuri)

La sudarea oţelurilor cu diferite structuri se folosesc următoarele procedee:

- scăderea nivelului tensiunilor adăugătoare în îmbinările combinate, care apar datorită diferenţei coeficienţilor de dilatare liniară a elementelor austenitice şi perlitice;
- utilizarea stratului de adaos cu înălţimea de 6...8 mm cu electrozi austenitici în construcţia din oţel perlitic şi pe urmă executarea cusăturii sudate între adaos şi piesă din oţel austenitic (fig. 8.11).
- folosirea adaosurilor intermediare din aliaj în baza nichelului între piesele sudate (fig. 8.12), acest procedeu permite mărirea siguranţei funcţionării îmbinării în condiţii de schimbări dese de temperaturi;

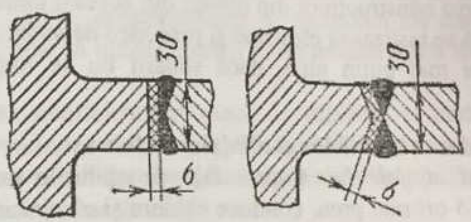


Fig. 8.11. Îmbinări sudate, executate pe un strat de adaos depus

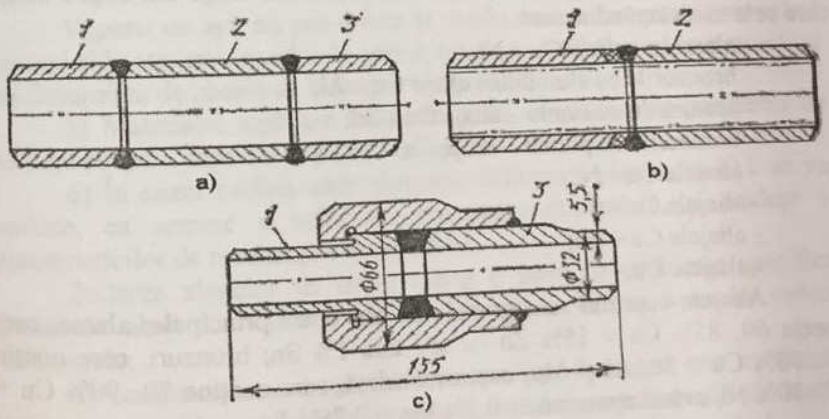


Fig. 8.12. Adaosuri sudate intermediare între suprafeţele pieselor sudate: a - adaos din oţel perlitic stabilizat; b - cu căptuşirea muchiilor ţevii din oţel perlitic; c - cu bucşa de protecţie; 1 - ţevi din oţel perlitic nestabilizat; 2 - ţevi din oţel perlitic stabilizat; 3 - ţevi din oţel austenic

Cota de participare a metalului de bază la sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor austenitice şi perlitice este prezentată în tabelul 8.10.

Tabelul 8.10. *Cota de participare a metalului de bază (%) la sudarea manuală şi automatizată cu arc electric*

Tipul îmbinării	*Clasa structurală a oţelului*	*Felul sudării*	
		Manuală cu arc electric	*Automatizată sub strat de flux*
Monostrat cap la cap	Perlitică	20...40	25...50
	Austenitică	30..50	40...50
Multistrat cap la cap, unghiulare şi rădăcinii cusăturii	Perlitică	25...50	35...60
	Austenitică	35...60	40...70

La sudarea construcţiilor din oţeluri din aceeaşi clasă structurală, dar cu aliere diferită se utilizează electrozi şi procedee de sudare, folosite pentru sudarea oţelului mai puţin aliat, dacă sudării nu se impun alte cerinţe deosebite.

8.20. Sudarea metalelor şi aliajelor neferoase

Cuprul şi aliajele lui. Cuprul faţă de oţelurile pentru construcţii sudate este de 1,5 ori mai greu, conduce căldura şi electricitatea de 11,6 ori mai bine, se dilată termic de 1,6 ori mai mult şi se topeşte la o temperatură de 1,3 ori mai joasă. Prin introducerea elementelor de aliere se constată o scădere rapidă a conductibilităţii termice şi electrice.

În practică se utilizează un număr ridicat de aliaje din cupru dintre care cele mai răspândite sunt:

- alamele – aliaje Cu – Ni;
- bronzurile cu aluminiu – aliaje Cu – Al;
- bronzurile cu staniu – aliaje Cu – Sn;
- bronzurile cu plumb – aliaje Cu – Pb - Sn;
- aliajele Cu – Ni;
- aliajele Cu – Si;
- aliajele Cu – Be;
- aliajele Cu – Cr.

Aliajele cuprului sunt grupele de trei tipuri principale: alame, care conţin 60...85% Cu + 15% Zn cu sau fără 1% Sn; bronzuri, care conţin 93...98% Cu + Sn, Al şi Mn, cupro-nichelină, care conţine 70...90% Cu + 10...30% Ni, având aproximativ 0,5% Mn şi 0,75% Fe.

În funcţie de modul de elaborare şi prelucrare, aliajele de cupru pot fi turnate sau deformabile. Ultimele fiind destinate a fi prelucrate prin deformare plastică la rece sau la cald. Prin deformarea plastică se produce o creştere a caracteristicilor de rezistenţă ale metalului.

Aliajele de cupru au caracteristici de rezistenţă, în anumite cazuri şi

rezistenţă la uzură şi coroziune, superioare cuprului, dar, în acelaşi timp conductibilitate termică şi electrică mai mici.

Comportarea la sudare a cuprului este determinată de următoarele aspecte:

1) Cuprul are o afinitate mare faţă de oxigen, formând cu acesta oxidul de cupru (I) (Cu_2O), care la o încălzire de 1065°C formează împreună cu cuprul un eutetic. Ca rezultat, se produce o fragilizare a materialului. Pentru a evita acest fenomen este necesară limitarea conţinutului de O_2 din metalul de bază (mai jos de 0,04%). Efecte asemănătoare au şi impurităţile de Pb, Bi, S a căror concentraţie limită este: Pb ≤ 0,05%; Bi ≤ 0,03%; S ≤ 0,01%.

2) Conductibilitatea termică foarte mare a cuprului impune utilizarea unor surse termice concentrate, respectiv preîncălzirea metalului. La efectuarea preîncălzirii trebuie de avut în vedere faptul, că în intervalul de temperaturi 250...550°C, caracteristicile de rezistenţă ale materialului scad foarte mult. De aceea, în timpul sudării piesa trebuie ferită de lovituri ca să nu se deterioreze.

3) Datorită coeficientului mare de dilatare, la sudare se produc deformaţii şi tensiuni mai pronunţate decât la sudarea oţelurilor. Este necesară asigurarea posibilităţilor de contracţie şi dilatare liberă a piesei. Un efect favorabil îl are preîncălzirea.

4) Cuprul este sensibil la formarea porilor în timpul sudării. Apariţia porilor este legată de prezenţa hidrogenului. Acesta reacţionează cu oxidul de cupru (I) conform ecuaţiei:

$$H_2 + Cu_2O = 2Cu + H_2O$$

Vaporii de apă nu pot difuza şi rămân incluşi în metal, provocând presiuni ridicate, care conduc la pori şi fisuri. Acest fenomen este cunoscut sub denumirea de „boala de hidrogen a cuprului".

5) Materialul topit are fluiditate mare, de aceea este preferabil de executat sudarea cuprului în poziţie orizontală.

6) În cazul sudării unor materiale deformate plastic, în ZIT se va produce, ca urmare a influenţei procesului de sudare, o scădere a caracteristicilor de rezistenţă a materialului.

Sudarea aliajelor de cupru ridică o serie de probleme specifice tipului de aliaj. La sudarea aliajelor de cupru se vor avea în vedere următoarele:

1) conductibilitatea termică a unor aliaje de cupru este mai mică decât cea a cuprului, ca urmare la aceste materiale este necesar de efectuat o preîncălzire la sudare mai mică.

2) la sudarea alamei se produce arderea zincului (temperatura de topire a zincului fiind 420°C, iar temperatura de ardere – 905°C), formând oxid de zinc ZnO. În funcţie de procedeul de sudare, procentul de zinc ars variază între 24...40%, fapt ce duce la formarea porilor şi la diminuarea

caracteristicilor mecanice. Vaporii de zinc sunt toxici, de aceea trebuie asigurată o ventilaţie bună a încăperii în care se sudează. În acelaşi timp, alamele sunt sensibile la fisurare, mai ales în ZIT, ca urmare a deformaţiilor pieselor de sudare.

3) bronzurile cu aluminiu se sudează relativ uşor, având o tendinţă de fisurare redusă, ca urmare a intervalului de fisurare îngust. Aliajele cu până la 9,4% Al sunt monofazice şi au comportare asemănătoare cu cea a cuprului. Ele sînt deformabile la rece. La sudare deranjează prezenţa peliculei de Al_2O_3, care însă asigură materialului rezistenţă la coroziune. Aceasta trebuie îndepărtată (cu un flux de bază Na_2AlF_6). La temperaturi ridicate şi umiditate, există pericol de apariţie a porilor. Acest pericol poate fi diminuat prin adăugare de Fe şi Mn. Impurităţile de Bi şi Pb conduc la fel ca şi la cupru, la fragilizare intergranulare, pericolul de fisurare fiind mare mai ales la aliajele cu un conţinut mai ridicat de Al.

4) bronzurile cu staniu prezintă înclinaţie spre fisurarea la cald având un interval de cristalizare mare.

5) aliajele Cu – Ni au o conductibilitate termică scăzută. La sudarea lor nu este necesară preîncălzirea. O dificultate la sudare o constituie vâscozitatea zgurii formată din oxizi, în primul rând, oxizi de nichel. Utilizarea fluxurilor este, în acest caz binevenită. Datorită solubilităţii hidrogenului, mărită de prezenţa nichelului, există pericolul producerii porozităţii.

6) aliajele Cu – Sn au o comportare bună la sudare. Se remarcă prin conductibilitate termică redusă (la nivelul oţelului), ca atare nu reclamă preîncălzirea. La temperaturi de 800^0C există pericolul de fisurare la cald.

Cuprul şi aliajele sale pot fi sudate prin diferite procedee. Cele mai bune rezultate se obţin la sudarea WIG şi MIG. Se pot aplica de asemenea sudarea cu gaz, sudarea cu electrozi înveliţi, sudarea sub strat de flux, sudarea cu fascicul de electroni ş. a. (tabelul 8.11).

Tabelul 8.11. *Procedee de sudare a cuprului*

Aliajul	*Sudare*			
	WIG	*MIG*	*cu electrozi*	*cu gaz*
Cu	recomandat	Recomandat	recomandat	recomandat
Cu - Zn	recomandat	Aplicabil	neaplicabil	recomandat
Cu - Ni	recomandat	Recomandat	recomandat	aplicabil
Cu - Sn	aplicabil	Aplicabil	recomandat	aplicabil limitat
Cu - Al	recomandat	Recomandat	recomandat	aplicabil limitat
Cu - Si	recomandat	Recomandat	aplicabil	aplicabil limitat
Cu - Be	aplicabil	Aplicabil	recomandat	aplicabil

8.21. Sudarea cuprului cu electrozi de cărbune

Sudarea cuprului cu electrozi de cărbune sau de grafit (tabelul 8.12) se realizează cu curent continuu polarizat diferit. Lungimea arcului trebuie să fie 35...40 mm.

Ca material de adaos se utilizează bare din cupru de mărcile M_1 şi M_2 şi de asemenea bare din cupru cu adaosuri de porţelan, care serveşte ca dezoxidant activ.

Tabelul 8.12. *Regimuri ale sudării manuale a cuprului cu arc electric cu electrozi de cărbune sau de grafit*

Grosimea metalului, mm	*Diametrul electrozilor, mm*		*Valoarea curentului, A*	*Diametrul barelor de adaos, mm*
	de cărbune	*de grafit*		
2...5	15	13	200...300	2...3
5...10	18	15	300...450	5...7
10...15	25	20	450...600	7...8

Pentru a evita supraîncălzirea şi oxidarea intensă a metalului barei de adaos, secţiunea ultimei trebuie să fie 20...25 mm^2. Ca flux la sudare se foloseşte boraxul sau amestecul din 95% de borax calcinat şi 5% de praf de magneziu. Înainte de sudare fluxurile-pulberi se aplică pe suprafaţa barei de adaos, acoperită cu sticlă solubilă (sau se aplică pe muchiile componentelor de sudat) şi se usucă la aer liber. Bara de adaos şi muchiile metalului de sudat, înainte de aplicarea fluxurilor se curăţă cu perie de metal şi se spală într-o soluţie de 10% de sodă caustică. Pentru asigurarea pătrunderii metalul cu grosimea mai mare de 4 mm, trebuie să aibă rost cu unghiul de deschidere 70...90°. Sudarea capetelor se execută pe suporţi de grafit sau asbest. După sudare cusătura se forjează şi rapid se răceşte.

8.22. Sudarea cuprului cu electrozi metalici

Cu electrozi metalici se sudează fabricatele din cupru, care se folosesc în formă de laminat cu grosimea mai mare de 2 mm. Sudarea se realizează în curent continuu cu polaritate inversă. Îmbinările cap la cap cu grosimea până la 4mm se sudează fără prelucrarea muchiilor.

La grosimi mai mari, de la 5 până la 12 mm se pregătesc rosturi în formă de V, cu unghiul de deschidere 60...70°.

Pentru sudarea ţevilor din aliaje Cu – Ni, МНЖ 5-1 între ele sau cu alama П90 şi bronz Бр АМц9-2 cu grosimea pereţilor până la 5 mm se utilizează electrozi МН-5. Electrozii АНМц (ЛК3-АБ) sînt destinaţi sudării defectelor semifabricatelor turnate din bronzuri de aluminiu şi aluminiu cu nichel. Sudarea se realizează cu arc scurt şi polaritate inversă.

8.23. Sudarea cuprului cu arc electric în mediu de argon

La sudarea manuală a cuprului în mediu de protecţie se utilizează gaze inerte, heliu şi argon. Sudarea se realizează cu electrod de wolfram, în curent continuu cu polaritate directă şi preîncălzirea piesei de sudat până la 300...400°C. Ca material de adaos serveşte sârma din bronz Бр КМц3-1.

Înainte de sudare arcul se amorsează pe o placă de grafit sau de cărbune, după ce se transferă pe componentele de sudat. Amorsarea arcului direct pe componentele de sudat nu se recomandă, deoarece în acest caz se produce topirea şi impurificarea electrodului de wolfram. Sudarea se poate realiza în toate poziţiile spaţiale.

În mediu de argon se poate suda şi cu curent alternativ, însă cu viteza de sudare mult mai scăzută, dar vederea exterioară a cusăturii este mai bună decât la sudarea cu curent continuu. Sudarea cu curent alternativ se realizează cu sârmă Бр КМц3-1. La sudare nu se foloseşte boraxul, deoarece metalul topit nu are peliculă superficială (ea se înlătură datorită pulverizării catodice). Pulverizarea catodică este bazată pe deplasarea ionilor pozitivi cu viteză mare spre catod şi bombardarea lui. Procesul de sudare este stabil şi poate fi realizat în toate poziţiile spaţiale.

În figura 8.13 sunt prezentate epruvete de ţevi sudate cu diametrul de 80mm din cupru M3C, realizate prin sudare cu arc electric în mediu de argon cu sârmă БР КМц3-1 şi borax.

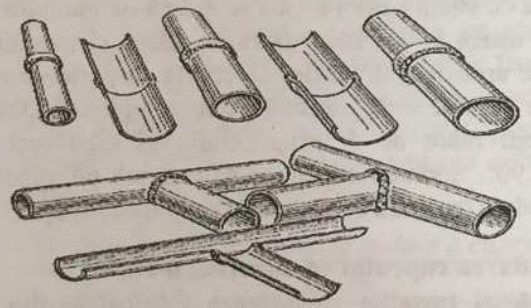


Fig. 8.13. *Epruvete de ţevi de cupru îmbinate prin sudare cu arc electric în mediu de argon*

8.24. Sudarea aluminiului şi aliajelor sale

Aluminiul faţă de oţelurile pentru construcţii sudate este de trei ori mai uşor, conduce căldura şi electricitatea de 6 ori mai bine, se dilată termic de două ori mai mult şi se topeşte la o temperatură de 2,2 ori mai mică. Aluminiul şi aliajele lui au o structură austenitică.

Aluminiul şi aliajele lui se grupează în opt clase după compoziţia chimică (tabelul 8.13).

În funcţie de modul de elaborare şi prelucrare, aliajele din aluminiu

sunt turnate sau deformabile. Aliajele deformabile se prelucrează la rece sau la cald prin laminare, tragere, extrudare, matriţare, forjare.

Comportarea la sudare a aluminiului este condiţionată de următoarele aspecte:

1) Afinitate mare faţă de oxigen, datorită căreia se formează o peliculă de oxid (Al_2O_3), rezistentă la oxidare şi la coroziune, foarte aderentă.

Oxidul de aluminiu conduce rău căldura şi se topeşte la o temperatură mult mai ridicată (2050°C) faţă de aluminiu (660°C). Aşadar, se impune înlăturarea oxidului de aluminiu, cel puţin în zona unde se sudează şi protejarea zonei de metal de oxidare. Înlăturarea stratului de aluminiu superficial (Al_2O_3) se face pe cale mecanică (cu perii de sârmă din aluminiu, tăiere sau polizare) sau pe cale chimică (aplicarea unor soluţii alcaline, apoi spălarea cu apă, un nou atac cu acid azotic şi iarăşi spălarea cu apă, un alt atac cu soluţii alcaline slabe şi spălarea, în final se şterge suprafaţa cu acetonă sau cu alcool etilic pentru a înlătura eventualele grăsimi).

Tabelul 8.13. *Domeniile de utilizare şi proprietăţile aluminiului pe grupe*

Clasa	*Componenţi*	*Proprietăţi şi utilizări*
1000	Al	Aluminiul pur, pentru industria chimică şi electrotehnică
2000	Al + Cu	Aliaje tratabile termic cu rezistenţă mecanică mare şi rezistenţă la coroziune mică
3000	Al + Mn	Nu se pot trata termic, se prelucrează uşor, rezistente la coroziune şi au rezistenţă mecanică medie
4000	Al + Si	Nu se pot trata termic, se utilizează frecvent la electrozi pentru sudare şi lipire
5000	Al + Mg	Au rezistenţă mecanică la coroziune, se sudează uşor, prelucrarea la rece este dificilă
6000	Al + Mg + Si	Se tratează termic, au rezistenţă mecanică medie şi rezistenţă la coroziune mare
7000	Al + Zn	Au rezistenţă mecanică foarte mare şi se utilizează la construcţii aerospaţiale
8000	Alte aliaje ale Al	

2) Conductibilitatea ridicată a aluminiului impune utilizarea unor surse puternice şi concentrate de căldură. La suduri cu grosimea de peste 20mm, este favorabilă preîncălzirea (la anumite procedee de sudare) până la o temperatură de 400°C.

3) Datorită coeficientului de dilatare mare, la sudarea aluminiului apar tensiuni şi deformaţii mai pronunţate decât la sudarea oţelurilor. Din acest motiv, este necesară luarea unor măsuri speciale pentru limitarea acestora.

4) Aluminiul poate dizolva în stare topită cantităţi mari de gaze (în primul rând, de hidrogen), care pot cauza producerea porilor. Pericolul de apariţie a porilor este accentuat de viteza de răcire relativ ridicată a sudurii, ca urmare a conductibilităţii termice înalte a aluminiului.

5) Unele aliaje de aluminiu, în special cele de tip eutetic cu Mg, Si sau C prezintă o susceptibilitate ridicată la apariţia fisurilor la cald. Pentru reducerea acestei tendinţe este necesară alegerea corespunzătoare a materialelor de sudare.

6) În cazul aliajelor deformate la cald sau tratate termic, procesul de sudare afectează caracteristicile materialului din ZIT, anulând efectul tratamentului respectiv. În cazul aliajelor călibile, efectuarea unui tratament termic după sudare poate readuce caracteristicile materialelor la valorile iniţiale. Rezistenţa sudurilor realizate la aliajele necălibile poate fi mărită prin ciocănirea lor.

8.25. Sudarea cu arc electric a aluminiului cu electrod de cărbune

Sudarea cu arc electric a aluminiului cu electrod de cărbune se utilizează pentru grosimi ale metalului de la 1,5 până la 20 mm şi la sudarea defectelor semifabricatelor turnate din aluminiu şi aliajele lui. Metalul cu grosimea până la 2mm se sudează fără pregătirea rosturilor (capetelor). Pentru evitarea pătrunderii peliculei de oxid în metalul cusăturii, la sudare se foloseşte flux ДФ-4А.

8.26. Sudarea aluminiului cu electrozi metalici

Pentru sudarea şi încărcarea pieselor din aluminiu pur А6, АДО, АД1 şi АД se utilizează electrozi О3А -1 şi АФ-4аКР. Sudarea se realizează în curent continuu cu polaritate inversă şi preîncălzirea componentelor de sudat cu grosimea de 6...8 mm până la 200°C, iar grosimea de 8...16 mm până la 350...400°C.

La sudarea aluminiului este foarte dificilă înlăturarea peliculelor de oxizi de la rădăcina cusăturii (la sudarea dintr-o parte a îmbinărilor cap la cap). Pentru acest scop se folosesc suporţi din oţel aliat, cupru şi alte metale cu temperatura înaltă de topire. Aceşti suporţi după sudare se înlătură. Suporţii se pot confecţiona din aluminiu sudabil, care după sudare rămân în

îmbinare.

Pentru înlăturarea peliculei de oxizi de la rădăcina îmbinării cap la cap se utilizează suporţi cu canale. Canalul împiedică transmiterea căldurii de la muchiile sudate la suport şi asigură curgerea peliculelor (topite) de oxizi împreună cu metalul topit a băii de sudură în partea inferioară a cusăturii (fig. 8.14) .

Lăţimea canalului în suport trebuie să fie mai mare de 6mm. Mai frecvent se folosesc canale dreptunghiulare (fig. 8.15), care asigură învoieli stabile de formare a cusăturii şi înlăturarea oxizilor. Este raţional canalul pătrat (fig. 8.15, b). Pentru înlăturarea peliculei de oxid în îmbinări cap la cap cu suport, care rămâne în îmbinare (confecţionat împreună cu una din piese) se utilizează canale dreptunghiulare înclinate (fig. 8.15, c), care sunt mai simple şi mai puţin costisitoare.

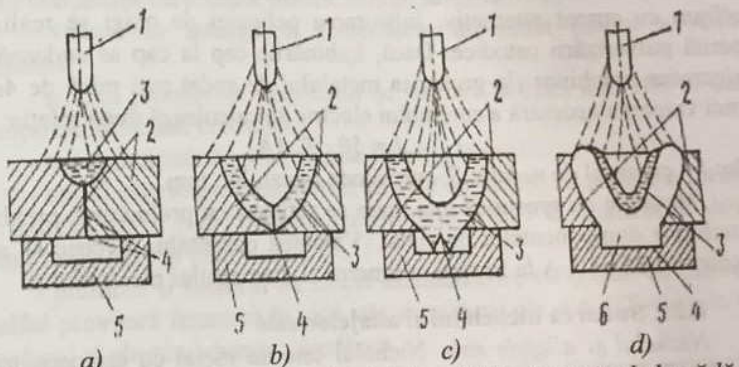


Fig. 8.14. Schema înlăturării peliculei de oxid de aluminiu de la rădăcina cusăturii la sudarea cap la cap dintr-o parte pe suport cu canal:
1 - electrod; 2 - componentele de sudat; 3 - metalul topit al băii de sudare;
4 - peliculă de oxid de aluminiu de pe suprafeţele pieselor îmbinate;
5 - suport cu canal; 6 - metalul cusăturii

Afară de înlăturarea peliculei de oxid acest canal micşorează transmiterea căldurii de la baia topită în direcţia piesei cu grosimea mai mare a îmbinării.

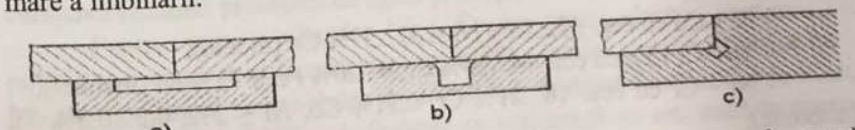


Fig. 8.15. Forma tăieturii transversale a canalului în suport, care formează rădăcina cusăturii: a - dreptunghiulară; b - pătrată cu muchiile rotunjite;
c- pătrată înclinată

Electrozii înainte de sudare se calcinează la temperatura de 350...400°C, timp de 2 ore, muchiile se taie la grosimea metalului de sudat mai mare de 20 mm. Sudarea se efectuează la jocul dintre table de 0,5...1,0 mm. Pentru sudarea aliajului AlMn şi restabilirea locurilor defecte în semifabricate turnate din aliaje АЛ-9 se folosesc electrozi de tipul A-2.

Sudarea se efectuează cu preîncălzire până la 300...400° C (AlMn) şi 280...300°C (АЛ-9) în curent continuu cu polaritate inversă şi arc scurt. Pentru sudarea aliajelor АЛ-2, АЛ-4, АЛ-5, АЛ-9 şi АЛ-11 sunt destinaţi electrozii O3A -2. Sudarea se realizează cu arc scurt, în curent continuu cu polaritate inversă şi preîncălzirea locului sudării până la 250…400°C.

8.27. Sudarea cu arc electric a aluminiului în mediu de argon

Pentru sudare se utilizează în calitate de gaz de protecţie argon de calitate superioară şi de categoria I-a. Sudarea se execută cu electrod de wolfram cu curent alternativ. Înlăturarea peliculei de oxizi se realizează datorită pulverizării catodice. Dacă, îmbinările cap la cap se sudează fără prelucrarea muchiilor (la grosimea metalului de sudat mai mică de 4mm), atunci valoarea necesară a curentului electric se calculează după relaţia:

$$I = 50 \cdot S, \text{ [A]}$$

unde: I – curentul de sudare; S – grosimea metalului, mm.

Metalele cu grosimea mai mare se sudează cu prelucrarea prealabilă a muchiilor componentelor de sudat. Valoarea curentului electric se alege din calculul 35...40 A la fiecare milimetru al diametrului electrodului.

8.28. Sudarea nichelului şi aliajelor sale

Nichelul şi aliajele sale. Nichelul este un metal cu temperatura de topire 1453° C şi masa specifică 8,9 kg/dm^3, posedă stabilitate înaltă contra coroziunii, plasticitate ridicată pe care o păstrează şi la temperaturi scăzute. Alungirea la rupere are valori de 30...50%, chiar şi la temperaturi de –253°C.

Nichelul şi aliajele sale se prelucrează uşor la rece şi la cald. Prin deformare plastică se ecruisează puternic. Ecruisarea poate fi îndepărtată pin tratament termic de recoacere. Nichelul în tehnică se foloseşte în stare pură şi în formă de aliaje. Nichelul tehnic pur – HO, H1,H3 şi H4. aliajele nichelului sunt:

- Ni - Cu cu cca. 65...70% Ni şi 32...37% Cu (monel);
- Ni – Cr - Fe cu cca. 14...16% Cr, 6...20% Fe şi 72% Ni (inconel);
- Ni - Cr cu cca. 18...21% Cr, 0,21% Co, Al ≤ 2%, 0,2...0,3% Ti, (nimonic).

Nichelul pur nu prezintă modificări alotropice şi are o plasticitate ridicată, de aceea comportarea lui la sudare nu ridică dificultăţi.

La sudarea aliajelor de nichel apar următoarele probleme:

- tendinţa de fisurare la cald, cauzată în primul rând de prezenţa unor impurităţi (sulf), care formează efectul uşor fuzibil;
- pericolul de formare a porilor, ca urmare a prezenţei gazelor O_2, N_2 şi H_2;
- pericolul de formare a unor precipitate (la aliajele de tip Ni - Mo), care scad rezistenţa la coroziune. Comportarea la sudare a aliajelor de nichel este influenţată de elementele de aliere;
- aluminiul măreşte tendinţa de fisurare, prin producerea unor precipitate;
- cromul nu are, în general, efect negativ asupra comportării la sudare, însă la aliajele cu Si măreşte tendinţa de fisurare;
- aliajele Ni – Mo au tendinţa de fisurare la cald;
- fierul nu cauzează dificultăţi la sudare în mod direct, ci prin intermediul impurităţilor pe care le introduce (P, S), în cazul prezenţei fierului conţinutul carbonului trebuie limitat la 0,1%;
- titanul se adaugă în materialele de sudat pentru a reduce porozitatea;
- siliciul promovează pericolul de fisurare la cald, mai ales în cazul prezenţei cuprului sau cromului;
- manganul reduce pericolul de fisurare la cald;
- sulful este foarte dăunător în aliajele de nichel, ca urmare a formării unei eutetici Ni – N_3S_2 cu punct de topire la 637°C, materialul devine sensibil la fisurare la cald;
- plumbul şi fosforul au efecte asemănătoare cu sulful, cu diferenţă, că sulful provoacă fisurarea la cald atât a cusăturii cât şi a ZIT-ului, în timp ce fosforul şi plumbul numai a cusăturii.

Sudarea manuală cu arc electric a nichelului. Sudarea manuală cu arc electric şi electrod metalic a nichelului se realizează în curent continuu cu polaritate inversă şi arc scurt. Pentru sudare se folosesc electrozi H37k sau „*Прогресс - 50*". În timpul sudării cu capătul electrodului se produc mişcări rectilinii alternative scurte. La schimbarea electrodului sau la întreruperea arcului, arcul se amorsează retrăgându-se înapoi de la crater cu 5...6 mm (cu curăţarea înainte de amorsare a cusăturii de zgură).

Fiecare strat următor se sudează după răcirea îmbinării sudate şi curăţarea stratului precedent de zgură şi stropi.

Pentru sudarea aliajelor Ni – Cu în curent electric continuu cu polaritate inversă se utilizează electrozi M30K. Pentru sudarea aliajelor Ni – Mo (cu conţinutul de molibden de 25...30%), destinat funcţionării în acizi, se folosesc electrozi HX – 1. Sudarea se realizează cu arc scurt în curent continuu cu polaritate inversă.

Sudarea manuală a nichelului cu arc electric în mediu de argon. Nichelul şi aliajele lui se sudează cu electrod de wolfram în curent continuu cu polaritate directă.

Pentru evitarea creării porilor în metalul cusăturii, în gazul de protecţie (argon) se adaugă hidrogen. Apariţia porilor în metalul cusăturii poate fi destituită prin introducerea în componenţa sârmei–electrod a aluminiului, siliciului, niobiului.

8.29. Sudarea titanului şi aliajelor de titan

Comportarea la sudare a titanului. Titanul împreună cu zirconiul, beriliul şi hafniul fac parte din grupa metalelor active, caracterizate printr-o afinitate mare faţă de gaze (oxigen, azot). Datorită raportului favorabil dintre rezistenţa şi densitatea sa şi având o rezistenţă bună la coroziune în diferite medii chimice, titanul şi aliajele sale şi-au găsit aplicarea în tehnicile aerospaţiale, chimice şi tehnica nucleară. Principala dificultate la sudarea titanului este legată de afinitatea sa mare faţă de gaze la temperatura 400...500° C. Prezenţa gazelor cauzează o fragilizare pronunţată a materialului. Pentru a evita reacţia cu gazele este necesar ca la sudare, materialul să fie protejat de atmosferă, în toate zonele, care sunt încălzite la o temperatură peste 400° C.

Aliajele titanului pot fi împărţite în funcţie de structură în:

1) *Aliaje α.* Ele au o rezistenţă la rupere de 700...900 N/mm^2 şi se caracterizează prin stabilitate termică înaltă, dar plasticitate relativ scăzută;

2) *Aliaje β.* Ele au o structură cubică cu volum centrat, de aceea se caracterizează prin plasticitate bună. Rezistenţa la rupere atinge 1500 N/mm^2. Sunt mai sensibile la impurificare.

3) *Aliaje α + β.* Ele sunt călibile, ajungînd la o rezistenţă la rupere de 900... 1200 N/mm^2. Sunt sensibile la fragilizare. La răcire se produce o structură asemănătoare cu cea martensită la oţeluri (soluţie suprasaturată α +β).

Sudarea titanului se poate realiza în mediu de gaz protector (WIG şi MIG), cu plasmă, cu fascicul de electroni.

Pentru a evita impurificarea băii de sudură este necesară curăţarea deosebită a materialului de bază şi de sudare. Îndepărtarea oxizilor superficiali se poate face pe cale mecanică – prin curăţare cu o perie de sârmă din oţel inoxidabil sau din titan – sau pe cale chimică – prin decapare cu o soluţie de 4% de acid fluorhidric şi 40% de acid azotic, urmată de spălare cu apă. Se poate face o degresare cu solvenţi organici – acetonă, etanol şi apă.

Forma şi dimensiunile rostului sunt asemănătoare cu cele recomandate pentru sudarea oţelurilor aliate austenitice.

Se recomandă evitarea prinderilor provizorii prin sudare. Sudarea WIG este procedeul cel mai utilizat pentru sudarea titanului. Sudarea se efectuează în curent continuu cu polaritate directă, electrozi de wolfram thoriat şi vergele cu compoziţia chimică apropiată de compoziţia metalului

de bază. Argonul utilizat ca gaz de protecţie trebuie să aibă o puritate de peste 99,95%.

Protecţia cu argon obişnuită la sudarea cu WIG nu este suficientă pentru obţinerea unor suduri de calitate şi de aceea, se impun măsuri suplimentare de protecţie. Alegerea unei anumite soluţii de protecţie suplimentare depinde de forma pieselor, de cerinţele calităţii pentru îmbinarea sudată şi de considerentele de natură economică.

Protecţia de gaz trebuie asigurată şi după terminarea sudării în toate zonele încălzite, atâta timp cât temperatura depăşeşte 250° C. Cea mai sigură protecţie se asigură prin efectuarea sudurii într-o cameră umplută cu gaz.

Pentru a asigura o răcire rapidă – avantajoasă sub aspectul evitării impurificării materialului se recomandă efectuarea răcirii forţate a sudurii cu apă. Această soluţie se utilizează mai ales pentru îmbinări în colţ (fig. 8.16) şi conduce la economisirea consumului de gaz.

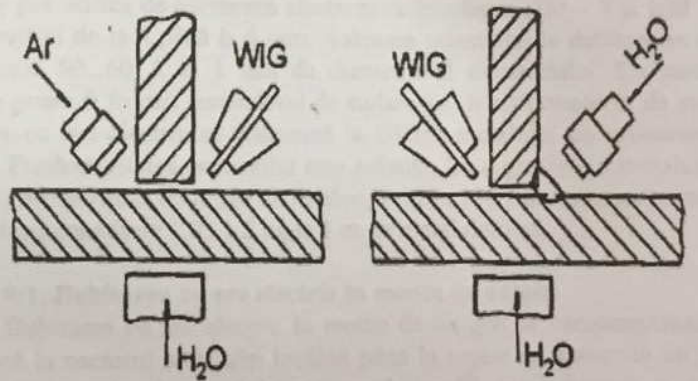


***Fig. 8.16.** Posibilitate de răcire forţată la sudarea titanului*

Arcul electric trebuie menţinut cât mai scurt, iar duza să fie poziţionată cât mai aproape de piesă. Trebuie evitaţi curenţi de aer în apropierea locului de sudare.

Sudarea MIG se aplică, în general, la îmbinarea pieselor cu grosimi mai mari (2...20 mm). sudarea se efectuează în curent continuu cu polaritate directă. La utilizarea acestui procedeu apar probleme dificile legate de trecerea curentului electric de la duzele de contact la sârmă şi de preţul avansat al sârmelor pentru sudare.

În general, pentru stabilizarea structurii aliajelor de tip α şi α + β, se recomandă efectuarea după sudare a unei recoaceri la o temperatură de 600...700° C cu răcire la aer. Pentru a reduce pericolul de fisurare după sudare, sudurile se supun unui tratament de detensionare.

8.30. Particularităţile tehnologiei de sudare a oţelurilor cu metale neferoase

La sudarea oţelurilor cu metale neferoase în primul rând este necesar să ne conducem de următoarele:

- de aflat, dacă este posibilă dizolvarea reciprocă a metalului neferos sau aliajului lui cu oţelul;
- de determinat cu care metal există dizolvarea reciprocă a metalului neferos şi se dizolvă acest metal în oţel, dacă da, el poate fi luat ca adaos intermediar între oţel şi metal neferos;
- de ştiut diferenţa coeficientului de dilatare liniară a oţelului şi a metalului neferos cu scopul reducerii deformaţiilor şi tensiunilor la sudare.

Toate aceste poziţii trebuie să fie menţionate în instrucţiunile la sudare sau în tehnologia de sudare.

Capitolul 9
TĂIEREA (DEBITAREA) METALELOR CU ARC ELECTRIC

Metode de tăiere cu electrod învelit. Tăierea cu electrod de metal cu înveliş gros greu fuzibil (refractar) deseori se utilizează pentru debitarea metalelor. Ea este bazată pe topirea metalului din zona tăieturii cu căldura arcului electric, amorsat între electrod şi metalul, care urmează să fie debitat. Această metodă se utilizează pentru tăierea grosolană a metalului. Tăierea se realizează cu electrod de metal cu înveliş refractar. Acest înveliş la tăierea permite formarea unui cozoroc, care închide zona arcului. Cozorocul protejează electrodul de scurt circuit cu metalul de debitat. Afară de aceasta, existenţa cozorocului permite încălzirea mai concentrată a metalului şi utilizarea mai productivă a tăierii (debitării). În calitate de înveliş se foloseşte un amestec, care conţine 70% de minereu de mangan şi 30% de sticlă solubilă. Grosimea învelişului electrodului constituie 1,0...1,5 mm. Se pot utiliza de asemenea electrozi cu învelişuri ЦМ – 7 şi ЦМ – 7С cu diametrul de la 4 până la 6 mm. Valoarea curentului la debitare se alege în limitele 50...60 A la 1 mm de diametru al electrodului. Ca sursă de energie poate fi folosit generatorul de sudare sau transformatorul de sudare. Sudarea cu arc electric se utilizează la tăierea metalului cu grosimea sub 30mm. Productivitatea procesului este scăzută. La o grosime a metalului de debitat 15mm viteza de tăiere nu depăşeşte 120...150 mm/min, iar consumul de electrod constituie 1,0...1,5 kg la 1 m de metal debitat.

9.1. Debitarea cu arc electric în mediu de oxigen

Debitarea cu arc electric în mediu de oxigen se caracterizează prin aceea, că la sectorul metalului încălzit până la topire se transmite un jet de oxigen. Oxigenul arde metalul din tăietură şi suflă oxizii formaţi şi metalul topit din zona tăieturii. La arderea metalului se degajă căldură adăugătoare, care avansează procesul de topire şi debitare. Această metodă se foloseşte la lucrări de construcţii şi montaj, când se utilizează tăieturi scurte la diferite obiecte de construcţii.

La debitarea cu aparatul de debitat РГД, sudorul ţine în mâna dreaptă portelectrodul, iar în mâna stângă – aparatul de debitat. Amorsând arcul şi încălzind metalul până la topire, sudorul apasă pe mânerul supapei de oxigen şi îndreaptă jetul de oxigen pe linia de debitare. Apoi, în procesul de debitare arcul şi aparatul de tăiat se deplasează de-a lungul liniei de debitat. Ca electrozi se folosesc vergele de oţel cu diametrul 4...5 mm cu înveliş ЦМ – 7, ОММ – 5, О3С-3. valoarea curentului în dependenţă de diametrul electrodului constituie 270…600 A. Prin această metodă se poate tăia metal cu grosimea până la 50mm. Metalul cu grosimea de la 10 până la 20 mm, se taie cu electrod cu diametrul de 4 mm, cu viteza de 450…550

mm/min. Consumul de oxigen constituie 100…160 l/min. Oţelurile carbon şi oţelurile slab aliate cu grosimea de 50 mm se taie cu electrod cu diametrul de 5 mm cu viteza de 200 mm/min cu un consum de oxigen până la 400 l/min.

O prioritate importantă a debitării cu arc electric în mediu de oxigen prezintă posibilitatea de combatere a debitării cu lucrările de sudare la realizarea montajului şi construcţiilor diferitelor obiecte.

Regimurile de tăiere a metalului cu arc electric şi electrod fuzibil în mediu de oxigen sunt prezentate în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1. *Regimurile de tăiere a metalului cu arc electric şi electrod fuzibil în mediu de oxigen*

Diametrul electrodului, mm	6	8	10	12
Curentul electric, A				
Curent electric cu polaritate inversă, A	270...290	370...390	470...480	560...600
Curent alternativ, A	-	-	450...500	550...600

9.2. Procedee de debitare cu electrod nefuzibil

Se folosesc următoarele procedee de debitare cu electrod nefuzibil: debitarea cu electrod nefuzibil, tăierea cu arc electric în mediu de aer comprimat, tăierea cu arc electric şi plasmă.

Debitarea cu electrod nefuzibil se realizează cu electrod de cărbune, de grafit sau de wolfram. Electrozii de cărbune şi de grafit cu diametrul de la 12 până la 25 mm se utilizează pentru tăierea metalului cu grosimea până la 100 mm. Tăierea se realizează în curent continuu cu polaritate directă. Valoarea curentului în dependenţă de diametrul electrodului variază de la 40 până la 1000 A. Electrozii de cărbune în procesul de debitare, carbonizează muchiile tăieturii şi prin aceasta îngreuiază prelucrarea mecanică ulterioară. Electrozii de grafit asigură tăietura mai curată, sunt mai rezistenţi şi permit folosirea curentului cu densitatea mai mare.

9.3. Tăierea cu arc electric în mediu de aer comprimat

Prin această metodă se realizează (debitarea) tăierea superficială. Esenţa acestei metode de tăiat constă în topirea metalului pe linia de tăiere cu un arc, care arde la capătul electrodului de cărbune şi metalului prelucrat, cu îndepărtarea forţată a metalului topit cu un jet de aer comprimat. Tăierea cu arc electric şi aer comprimat se utilizează pentru prelucrarea oţelurilor carbon, metalelor neferoase şi fontelor. Această metodă se utilizează pentru

tăierea maselotelor, semifabricatelor turnate, defectelor de sudare etc.

Ca deficienţă a acestei metode poate fi menţionată carburarea superficială a suprafeţei tăiate.

Pentru tăierea cu arc electric în jet de aer comprimat a oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon şi a oţelurilor inoxidabile cu grosimea până la 20mm se utilizează aparatul de tăiat PVD-4a-66 (fig. 9.1). Curentul electric şi aerul comprimat se transmit pe o singură conductă-cablu combinată.



Fig. 9.1. *Aparat AVD-4a-66 pentru tăierea cu arc electric şi aer comprimat*

Aparatul AVD-4a-66 este dotat cu un mâner cu ventil pentru transmiterea aerului comprimat. Electrodul de grafit se strânge între falca staţionară şi cea mobilă a portelectrodului. Aerul comprimat iese prin două găuri, care sunt executate în falca staţionară. Aerul se transmite prin conductă sub presiune 0,4...0,5 MPa către zona de tăiere şi suflă metalul topit din locul tăieturii. La tăierea cu arc electric în şuviţă de oxigen se utilizează electrozi de cărbune cu diametrul de 6...12 mm, şi de asemenea, electrozi de cărbune cu cupru sau cărbune cu grafit. Productivitatea majoră se obţine la utilizarea curentului continuu cu polaritate inversă.

La debitarea manuală, electrodul este cufundat în metalul de prelucrat. Unghiul dintre electrod şi suprafaţa metalului de tăiat constituie 45 – 60°, iar la tăierea superficială el este mai mic de 30°. Lungimea consolei nu poate fi mai mare de 100 mm. În timpul lucrului, electrodul arde şi periodic se reglează la lungimea prescrisă. Nu se recomandă de apăsat electrodul, fiindcă el se încălzeşte şi se poate sfărâma. Lăţimea canalului se obţine cu 1...3 mm mai mare decât diametrul electrodului utilizat. Regimurile de tăiere cu arc electric şi aer comprimat sunt prezentate în tabelul 9.2.

Tabelul 9.2. *Regimurile de tăiere cu arc electric şi aer comprimat*

Diametrul electrodului, mm	*Curent, A*	*Presiunea aerului, Mpa*	*Grosimea metalului, mm*	*Lăţimea tăieturii, mm*
4	200...240	0,6	5	6
8	370...390	0,55	25	10
12	500...580	0,6	25	14

În calitate de surse de alimentare cu curent electric se utilizează generatoare de sudare PSO-500, PS-500, redresor VCS-500. Pentru alimentaţia cu aer se utilizează compresoare cu productivitatea de 20...30 m^3/h. Tăierea cu arc electric şi aer comprimat, de regulă se realizează manual, însă pentru prelucrarea superficială se utilizează semiautomatul PDV-2-67.

Poziţiile aparatului de tăiat de debitare şi prelucrare superficială sunt prezentate în figura 9.2.

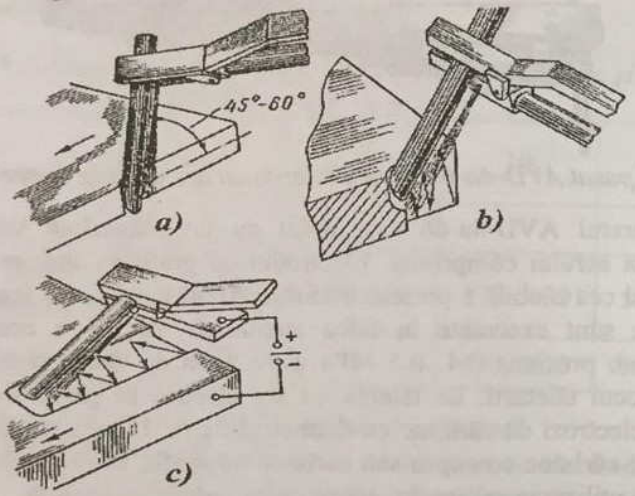


Fig. 9.2. *Poziţiile aparatului de tăiat la debitare şi la tăiere superficială: a) – tăierea metalului cu grosimea până la 20mm; b) – tăierea metalului cu grosimea mai mare de 20 mm; c) – topirea canalelor superficiale late*

9.4. Tăierea şi sudarea metalelor cu plasmă

Tăierea şi sudarea metalelor cu plasmă se mai numeşte *sudare cu arc constrâns*, deoarece la baza acestei metode de sudare este constrângerea coloanei arcului electric de către gaze şi avansarea considerabilă a temperaturii flăcării. Pentru realizarea acestui scop în plasmotron cu duză de cupru, răcită cu apă circulară prin care trece coloana arcului electric, se pompează gazul creator de plasmă (monoatom – argon, heliu sau biatom – azot, hidrogen, oxid de carbon (II)). Stâlpul arcului electric artificial se comprimă, iar densitatea lui se măreşte pînă la 100 A/mm^2, sursa de căldură se concentrează până la 500 kW/cm^2, iar temperatura atinge 16000...32000° C. Ca rezultat se formează jetul de plasmă, care prezintă un jet de gaz puternic ionizat. Dacă descărcarea electrică apare între piesa de prelucrat şi electrod, atunci aşa arc electric se numeşte *arc cu acţiune directă* (fig. 9.3, a). Temperatura arcului cu acţiune directă atinge 16000° C. Dacă în calitate de un electrod se utilizează becul plasmotronului (capului de sudat), iar în

calitate de alt electrod se foloseşte un electrod din wolfram sau din cupru, atunci arcul se numeşte *arc cu acţiune indirectă* sau jet de plasmă (fig. 9.3, b), care atinge temperatura de până la 33000° C.

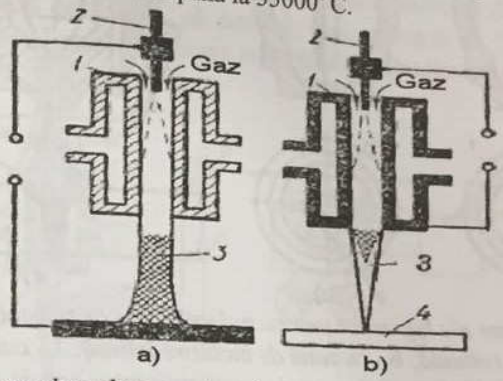


Fig. 9.3. *Scheme de sudare cu plasmă: a – cu arc cu acţiune directă; b – cu arc cu acţiune indirectă: 1 - bec de cupru, răcit cu apă; 2- electrod din wolfram sau din cupru; 3 - coloana arcului; 4 – componentele sudate*

Sudarea cu plasmă se realizează la executarea îmbinărilor şi tăierii diferitor materiale (dintre care greu fuzibile, uşor fuzibile) şi posedă următoarele proprietăţi: productivitate avansată, zonă de influenţare termică minimală, deformaţii scăzute a materialului, stabilitate superioară. Cea mai răspândită este metoda de sudare cu arc de plasmă. Arcul este amorsat între electrodul nefuzibil al arzătorului cu plasmă şi componentele sudate (fig. 9.4).

Zona de încălzire la sudarea cu arc de plasmă poate avea diferite forme geometrice (fig. 9.5).

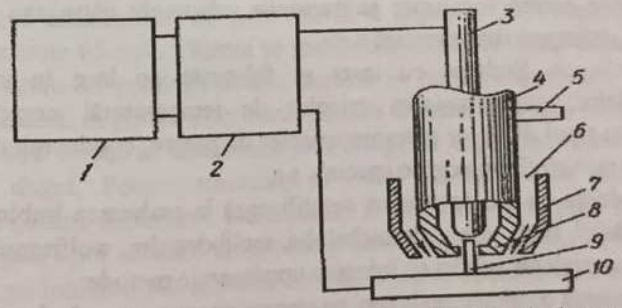


Fig. 9.4. *Schema de sudare cu arc de plasmă: 1- sursa de alimentare; 2 - generator de frecvenţă înaltă; 3 - electrod din wolfram; 4 - gaz generator de plasmă; 5 - lichid pentru răcire; 6-gaz de protecţie; 7 - duză pentru gazul de protecţie; 8 - duză generatoare de arc; 9 - arc; 10 -piesele de sudat*

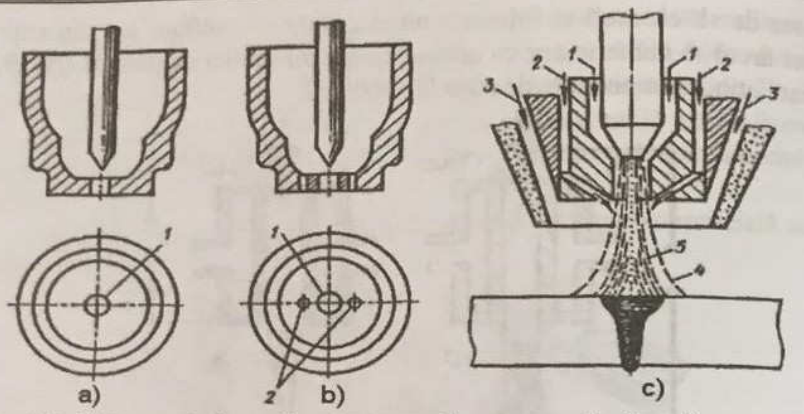


*Fig. 9.5. Scheme ale becurilor pentru sudare cu arc de plasmă: **a** - cu zonă de încălzire rotundă; **b** - cu zonă de încălzire întinsă: 1 - canal central pentru arcul de plasmă; 2 - canale auxiliare pentru gaz de focalizare; **c** - cu jet de aer adăugător pentru focalizarea arcului: 1 - gaz generator de plasmă; 2 - gaz pentru focalizare; 3 - gaz protector; 4 - forma arcului fără gaz de focalizare; 5 - forma arcului cu gaz de focalizare*

Dacă este necesară o zonă de încălzire întinsă, atunci în duză se realizează două găuri adăugătoare (fig. 9.5, b). Prin aceste găuri trece gazul generator de plasmă şi conduce la micşorarea dimensiunilor zonei de încălzire, dându-i o formă alungită. La sudarea cu aşa duză, zona de acţionare termică se îngustează, iar viteza de sudare se măreşte de 50...100%

Altă varietate de duză cu găuri adăugătoare pentru crearea unui jet de gaz este prezentată în fig. 9.3, c. Gazul generator de plasmă se transmite tangenţial, ce permite un debit neînsemnat al lui să stabilizeze bine arcul. Jetul de gaz pentru focalizare se transmite sub unghi către axa arcului şi creează o strângere suplimentară a ei.

Aplicaţii. Sudarea cu laser se foloseşte pe larg în construcţia automobilelor, confecţionarea releelor de temperatură, componentelor electrice de tipul diodelor şi tranzistoarelor de putere, conductelor, prizelor, rotoarelor motoarelor electrice speciale ş.a.

Sudarea cu arc de plasmă se utilizează la realizarea îmbinărilor din oţel inoxidabil, titan, aliaje ale nichelului, molibdenului, wolframului ş.a. La sudarea materialelor subţiri se folosesc următoarele metode:

- sudarea continuă cap la cap, cu margini suprapuse sau în formă de „T";
- sudarea în puncte a două table complet sau parţial suprapuse.

Sudarea cu laser, cu sau fără utilizarea materialelor de adaos se realizează doar prin fuzionarea locală a componentelor de sudat.

Tăierea cu laser este o operaţie foarte răspândită. Cu laser se poate

tăia sticlă, diamante, ceramică, metale etc. La tăiere se folosesc lasere continue, dotate cu energii de radiaţie mari în infraroşu.

Tăierea metalelor cu jet de plasmă (cu arc indirect) Acest procedeu se caracterizează prin aceia, că metalul, care urmează să fie tăiat nu se introduce în lanţul arcului şi tăierea materialului se realizează cu arc indirect (fig. 9.6, a).

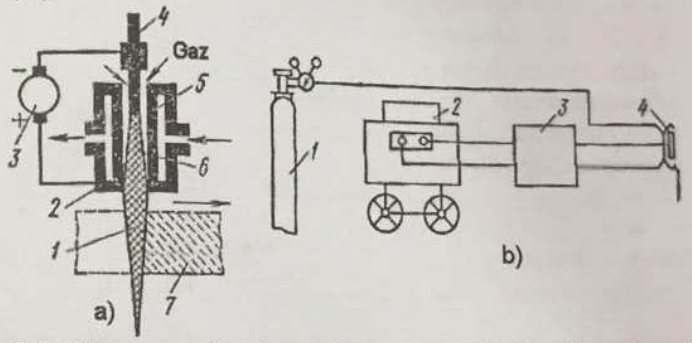


Fig. 9.6. Tăierea cu plasmă: a-schema procesului; b- schema instalaţiei

Curentul continuu de la sursa de energie *3* se transmite: minus – la electrodul din wolfram *4*, capătul căruia este conic, plus – spre duza de cupru *2*, care formează arcul. Sub influenţa fluxului de gaz (argon, azot, hidrogen şi amestecul lor), care se suflă prin ajutajul *5* se formează o limbă de plasmă *1*, utilizată pentru topirea metalului, care urmează să fie debitat *7*. Ajutajul *5* cu duza *2* se răcesc cu apă.

Instalaţia pentru debitare (fig. 9.6, b) constă din butelia1 cu gaz de lucru, sursa de curent continuu *2*, mecanismul de distribuţie *3* cu aparatura de dirijare şi aparatul de tăiat *4*.

La tăierea oţelului inoxidabil cu grosimea de 5 mm şi curent 300 A cu utilizarea amestecului de gaze din 80% argon şi 20% azot, viteza de tăiere constituie 65 m/h. Tăierea se realizează cu joc minimal dintre duză şi metal. Tăietura se primeşte foarte îngustă în partea superioară, egală cu diametrul duzei. În partea inferioară, lăţimea tăieturii este mai mică decât în partea de sus. Arcul se amorsează prin atingerea capătului electrodului de marginea duzei. Pentru amorsare în capul de tăiat este prevăzut un mecanism pentru deplasarea electrodului în jos. În primul rând în duză se transmite gaz, apoi coboară electrodul şi amorsează arcul. În poziţia iniţială electrodul se întoarce sub acţiunea arcului. Tăierea se realizează manual sau de către maşini pentru tăierea cu plasmă. Tăierea cu plasmă preponderent se foloseşte pentru tăierea metalelor cu grosimi mici (3...5 mm) şi materialelor neconductoare de electricitate. Pentru tăierea cu plasmă a oţelurilor inoxidabile cu grosimea 0,5...3 mm. Pentru obţinerea tăieturii calitative şi înguste este necesar un jet de plasmă cu concentrare înaltă a energiei în

duză. În acest caz se folosesc duze cu canal îngust (cu diametrul 1 mm şi lungimea 5 mm). În calitate de gaz plasmogen se foloseşte amestecul de argon şi azot. Viteza de tăiere trebuie să fie maximală, la care se asigură tăietura completă şi lipseşte zgura din partea opusă.

Regimurile de tăiere:

Grosimea metalului, mm	0,5	1,5	2,0	3,0
Valoarea curentului, A	75	100	110	125
Tensiunea arcului, V	22	25	27	29
Viteza de tăiere, m/min	1,5	1,2	1,0	1,0
Consum de gaze l/min:				
argon	9	8	7	6
azot	2	3	4,5	5
Lăţimea tăieturii	0,7	1,0	1,15	1,2
Lungimea arcului	2,5	1,8	1,2	1,0

Temperatura plasmei în arcul cu plasmă şi intensitatea transmiterii de căldură treptat se micşorează în înălţime în partea inferioară a tăieturii, de aceea muchiile ei pe acest sector se apropie una de alta (fig. 9.7). Pata activă a arcului şi poziţia ei în cavitatea tăieturii depinde de parametrii arcului, caracterul formării lui, viteza de tăiere, grosimea şi proprietăţile metalului. La schimbarea acestor parametri se schimbă şi forma tăieturii. La mărirea vitezei de tăiere lăţimea tăieturii se măreşte, mai ales în partea inferioară, suprafeţele tăieturii sunt aproape paralele una faţă de alta. La viteze foarte mici tăietura în partea de jos se lărgeşte.

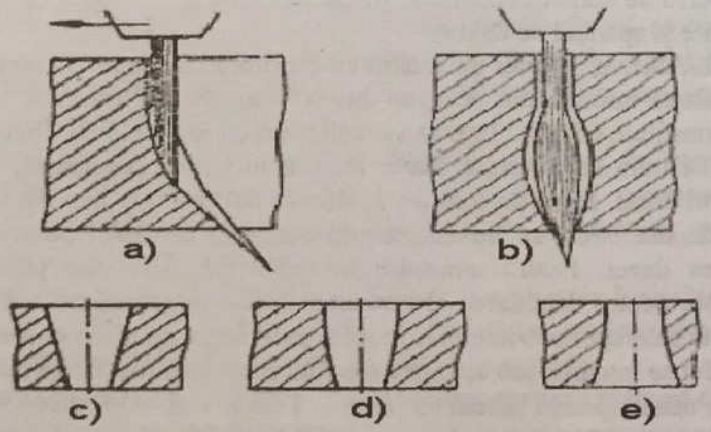


Fig. 9.7. *Forma tăieturii în secţiune: a,b – arcul în cavitatea tăieturii metalului cu grosimea mare; c – tăierea metalului de grosime mică cu viteză mare; d – tăierea cu viteză optimală; e –viteză de tăiere foarte scăzută*

Particularităţile pozitive ale procesului de tăiere cu plasma sunt: viteza mare de tăiere a metalului subţire (până la 20 mm/s), posibilităţi de tăiere a diferitor materiale la aceleaşi utilaje, lipseşte necesitatea de utilizare a combustibilului, utilizarea gazelor nedeficitare şi puţin costisitoare, zona mică de influenţă termică şi deformaţii termice neînsemnate a pieselor tăiate ce permite realizarea sudării pieselor după tăiere fără prelucrare mecanică, posibilitatea de mecanizare şi automatizare a procesului de tăiere, economie de metal din cauza tăieturii înguste.

Elementul principal al instalaţiei de tăiere cu plasmă este plasmotronul. În plasmotronul manual este prevăzut mecanismul pentru dirijare cu ciclul de tăiere: transmiterea şi închiderea gazului, aprinderea arcului auxiliar ş.a.

Plasmotronul (fig. 9.8) pentru tăierea manuală a metalelor constă din capul *4*, becul cu duza pentru formarea plasmei *3* şi mânerul *5*. Capul aparatului de tăiat *4* are corpul răcit cu apă, care se transmite şi se evacuează prin conductele *8*. Becul este izolat de corp cu o garnitură de cauciuc. Blocul de supape şi ventile este montat la mâner şi include ventilul pentru transmiterea argonului *10* cu ştuţul *9*, supapa *6*, care permite realizarea tăierii în amestec de argon cu hidrogen sau azot şi ştuţul *7*. Aparatul de tăiat are rolă de reazem *2* şi apărătoare *1*. În pachetul de conducte intră două furtunuri pentru gaze (argon şi hidrogen sau azot) şi două furtunuri pentru apă de răcire. Printr-un furtun de răcire trece cablul cu curent electric, care se uneşte cu minusul sursei de alimentare.

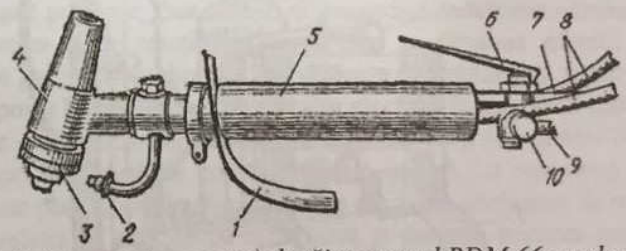


Fig. 9.8. *Aparat (plasmotron) de tăiat manual RDM-66 cu plasmă*

Aparatul RDM-66 este destinat debitării aluminiului şi aliajelor lui cu grosimea până la 25 mm şi oţelurilor inoxidabile cu grosimea până la 20 mm. Arcul se excită la atingerea capătului electrodului de marginea duzei. În primul rând, în cavitatea interioară a duzei se transmit gazele corespunzătoare, după ce se amorsează arcul.

Capul aparatului de tăiat (plasmotronului) are mantaua exterioară *1* (fig. 9.9), fixată cu piuliţa *2* de carcasă turnată cu un compus de smoală epoxidică. Electrodul din wolfram *4* este fixat cu dispozitivul de strângere *3*

în carcasa superioară în care, prin ţeava *5*, se transmite gaz făuritor de plasmă, iar prin alte două conducte *8* – apa de răcire şi curentul electric. Jetul de plasmă curge prin becul *6*. Arcul de serviciu arde între ajutajul *7* şi electrodul *4*.

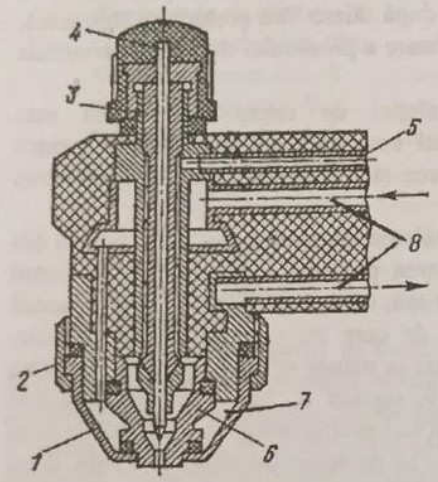


Fig. 9.9. *Capul aparatului de tăiat: 1 - mantaua exterioară; 2 - piuliţă; 3- dispozitiv de strîngere cu bucşe elastice; 4 - electrod; 5 - ţeavă (conductă); 6 - bec; 7 - canal pentru răcirea ajutajului cu apă; 8 - conducte pentru apă*

Instalaţia UPPD-67 este destinată tăierii cu arc electric cu plasmă a metalelor neferoase, aliajelor, oţelurilor inoxidabile cu grosimi medii în amestecuri de argon sau azot. Vederea generală a instalaţiei este prezentată în figura 9.10.

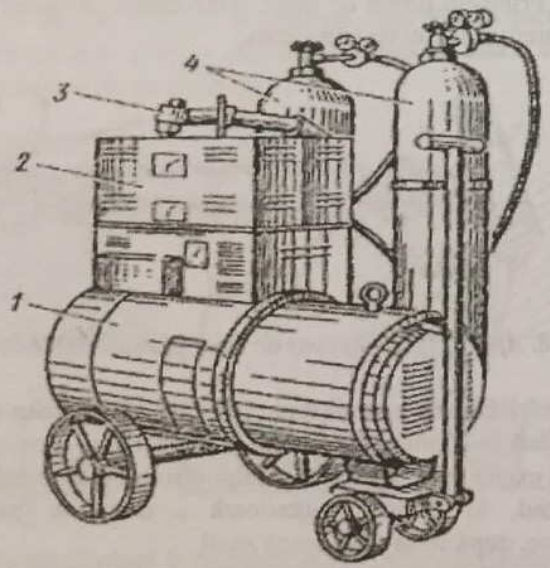


Fig. 9.10. *Instalaţia UPPD-67 pentru tăierea metalelor cu plasmă: 1 – transformator de sudare; 2 – dulap cu aparataj; 3 – plasmotron 4 – butelii cu gaze*

9.5. Tăierea şi sudarea metalelor cu laser

Tăierea şi sudarea metalelor cu laser face parte din grupa procedeelor de sudare prin topire prin radiaţii. Sursa termică constituie un fascicul laser. Fasciculul este focalizat printr-un sistem optic, zona de îmbinare plasându-se în dreptul focarului.

În tabelul 9.3 sunt prezentate caracteristicile unor tipuri uzuale de laser cu gaze.

Dintre laserele cu gaz, cel mai reprezentativ, atât din punctul vedere al puterii furnizate cât şi al randamentului, este laserul CO_2. El are drept mediu activ un amestec gazos format din CO_2, He şi N_2. Efectul laser se poate produce atunci când are loc o descărcare electrică în amestecul de gaze din tub.

Tabelul 9.3. *Tipuri uzuale de laser cu gaz*

Tip de laser	*Putere de ieşire maximă, W*	*Randament , %*	*Lungime de undă, μm*
He – Ne	0,1	0,1	0,632
Ar	10	0,1	0,465 – 0,488
CO_2	1200	15 – 20	10,6

În figura 9.11 este prezentat schematic un laser cu CO_2, funcţionând în regim continuu. Tubul de descărcare *2* este format din mai multe tronsoane, îmbinate cu piesele de legătură *3*. Prin tub se realizează un flux continuu de gaz proaspăt. Prin aceasta se împiedică încălzirea gazului şi se evită producerea unor reacţii auxiliare, care ar diminua efectul laser. Amestecul de gaze, format din CO_2, N_2 şi He de puritate înaltă, se introduce în tub în proporţii bine definite. Descărcarea electrică în interiorul tubului se produce între doi electrozi de formă circulară *4*, plasaţi la capetele tubului, care sunt legaţi la o sursă de înaltă tensiune (~25kV). La cele două capete ale tubului sunt plasate două oglinzi: una din ele *5*, are coeficient de reflecţie 100%, iar cealaltă *6*, este parţial reflectantă şi permite trecerea prin ea a fasciculului laser. Etanşarea capătului tubului cu oglinda *6* se realizează printr-un geam de NaCl **7**. Acest material nu absoarbe radiaţia cu lungimea de undă λ = 10,6 μm şi drept urmare, nu se încălzeşte. Fasciculul laser *8* este deviat cu 90° la ieşirea din tub cu o oglindă *9* plasată la 45° faţă de axa tubului. Lentila *10* focalizează fasciculul laser pe piesa de prelucrat *13*, care este aşezată pe o masă mobilă *14*. Pentru a diminua absorbţia radiaţiei cu λ = 10,6 μm, lentila *10* se confecţionează din NaCl sau germaniu. În cazul laserelor de putere mare, ţinând cont de faptul că nu se poate elimina complet absorbţia radiaţiei de lentilă, aceasta trebuie răcită. În capul *15* al aparatului, prin orificiul *11* se introduce un gaz sub presiune, care împreună

cu fasciculul laser, ajunge la piesa de prelucrat prin duza *12*. În cazul folosirii laserului la tăiere acest gaz este O_2, iar în cazul folosirii lui la sudare este N_2 sau He.

O variantă a laserului CO_2 este cea funcţionând în regim cu impulsuri. Un asemenea regim de funcţionare se poate realiza, în principiu, fie rotind o piesă circulară în faţa unei oglinzi, fie rotind una din oglinzile aparatului laser. Cu laseri CO_2 obişnuiţi, funcţionând în asemenea regim s-au obţinut pulsaţii de ordinul 100 kW.

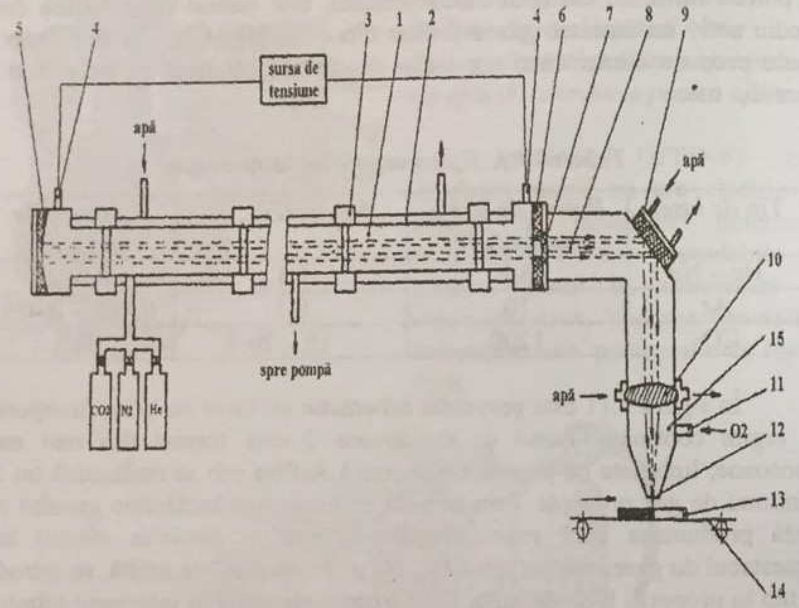


***Fig. 9.11.** Reprezentarea schematică a unui laser CO_2*

Schema principală de funcţionare a laserului CO_2 pulsant este reprezentată în figura 9.12.

În tubul laser *1* este introdusă o placă electrod *2* în faţa căreia se află vârfurile *3* conectate prin intermediul rezistenţelor *4* la dispozitivul de executare *G*. Aplicând un impuls de tensiune de ordinul a 20 kV se va produce în dreptul fiecărui vârf cîte un arc electric, care va conduce la o excitare în volum. Acestui impuls electric transversal îi aparţine un impuls laser corespunzător. Descărcarea poate avea loc la presiuni de 10...20 ori mai mari decât în cazul laserelor obişnuiţi, iar puterea impulsurilor poate fi de ordinul megavaţilor (MW).

Laserii solizi se caracterizează prin puteri foarte mari (sute de MW), dar care se realizează numai în regim de impulsuri. În cristalul de rubin,

având o formă cilindrică, sunt înglobaţi ioni activi, care pot fi ioni de crom cu ioni ai pământurilor rare. Pomparea optică se efectuează cu o lampă fulger, care împreună cu cristalul, se află într-o dispunere elipsoidică, focalizând lumina în interiorul cristalului.

Cel mai frecvent utilizat laser solid foloseşte ca material activ un cristal de rubin Al_2O_3 dotat cu CuO şi cu ioni de crom trivalent Cr^{3+}. Din punct de vedere a puterii furnizate laserele cu medii active solide sunt superiori celor cu medii active gazoase. Astfel un laser rubin poate furniza (în regim de impulsuri) o putere de ordinul de zeci de MW, pe când laserul CO_2, funcţionând în regim continuu emite o putere maximală de numai 1...10 kW. Cu toate că laserul rubin este cu durata unui impuls scurtă (până la 10^{-8} s), el este capabil să producă câmpuri electrice puternice şi temperaturi înalte, utile în diferite aplicaţii.

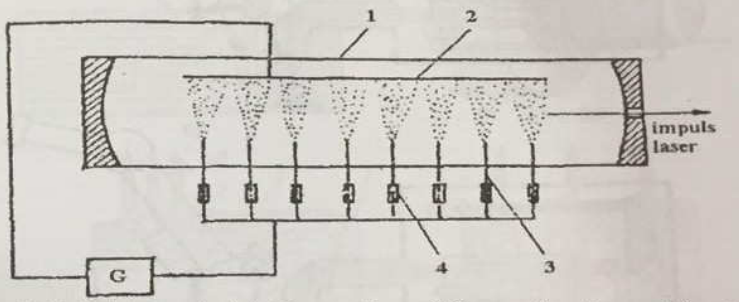


***Fig. 9.12.** Schema principială a unui laser CO_2 care funcţionează în regim pulsant*

Deşi, randamentul laserelor cu rubin este scăzut, totuşi ele au căpătat o răspândire largă în industrie. În figura 9.13 este prezentată schema unui laser cu rubin.

Instalaţia de sudat prezintă un complex de elemente optico-mecanice şi electrice. Principalul element este generatorul cuantic cu cristal de rubin.

Instalaţia constă din generator, bloc de alimentare, masă cu condensatoare şi microscop stereoscopic. Generatorul transformă energia acumulată în blocul de acumulatoare într-un fascicul monocromatic îngust de raze. Generatorul este compus din camera *1* (fig.9.13, a), în interiorul căreia este aşezat cristalul de rubin *2* şi lampa cu impulsuri *3*, la capetele căreia se transmite tensiune înaltă. Suprafaţa interioară a lămpii este polizată şi reflectă lumina. Rubinul se răceşte cu circulaţia aerului comprimat prin interiorul camerei. Pentru formarea radiaţiei emise de cristalul de rubin şi direcţionarea ei în zona de sudare serveşte dispozitivul de formare, care constă din prisma *4*, lupă şi obiectivul *5*. Sistemul de formare este dotat cu

obiective ce pot fi schimbate, care focalizează fasciculul paralel de lumină, emis de generator, într-o pată cu diametrul 0,25...0,05 mm. Pentru reglarea laserului se utilizează un dispozitiv optic, care include sursa de lumină *6*, prisma *7* şi lupa condensatoare *8*. Fasciculul de lumină de la sursa de iluminat trece prin cristalul de rubin şi sistemul optic al generatorului (fig. 9.13, b). Pentru a urmări procesul de sudare serveşte microscopul *9*. Pentru a proteja ochii operatorului de radiaţie este prevăzută clapeta *10* acţionată automat de un electromagnet.

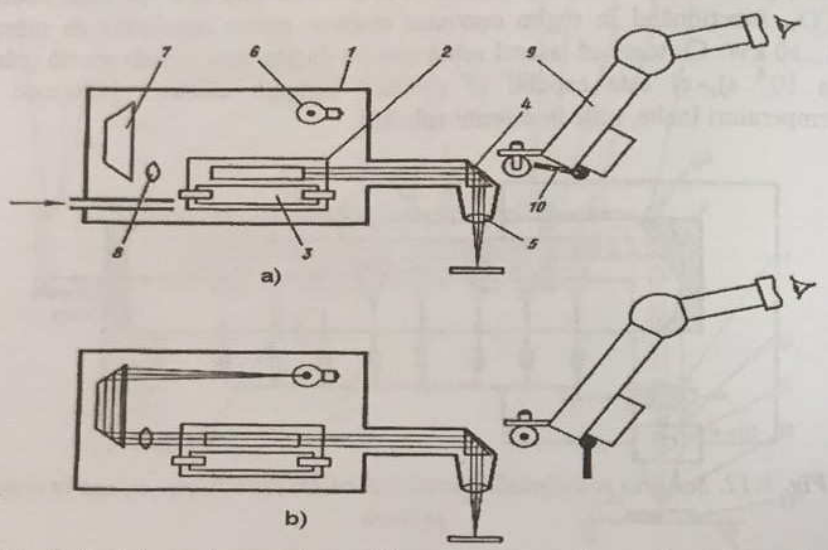


Fig. 9.13. *Schema laserului cu rubin: a – sudarea; b – reglarea laserului*

Echipament de sudare cu laser. Un echipament de sudare cu laser se compune din următoarele părţi principale:

- cavitatea rezonantă, adică locul unde se produce efectul laser;
- sursa de energie de pompare, necesară producerii emisiei stimulate – laser;
- sistemul de focalizare a fasciculului;
- sistemul de vidare a cavităţii rezonante şi de pompare a amestecului gazos (în cazul laserului cu mediu gazos);
- batiul echipamentului de sudare.

Capitolul 10
ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE

Încărcarea prin sudare reprezintă operaţia prin care un material de adaos este depus printr-un procedeu de sudare pe un material de bază în scopul obţinerii unor caracteristici sau dimensiuni dorite (fig. 10.1). De obicei aceste caracteristici se referă la o rezistenţă ridicată la diferite forme de uzură, eroziune sau coroziune.

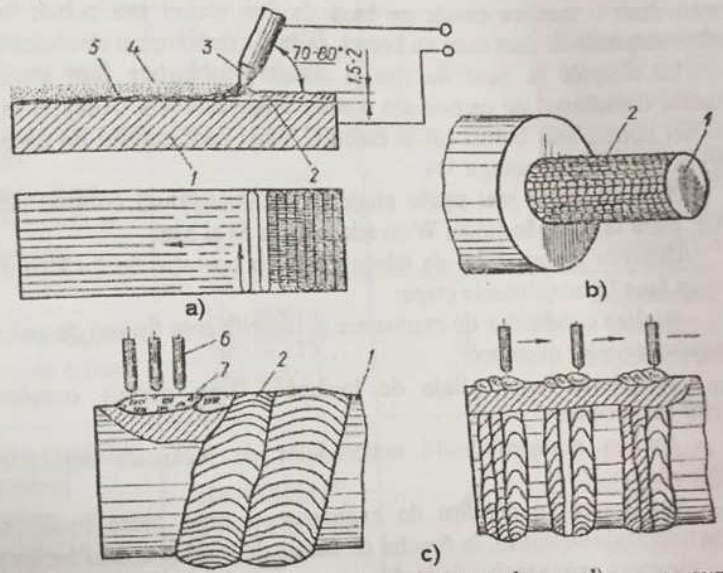


Fig. 10.1. *Piese încărcate (acoperite cu un strat de metal): a - pe suprafaţa orizontală; b, c - pe suprafeţe cilindrice: 1 - piese care se încarcă; 2 - stratul de metal depus (aplicat); 3 - electrod de cărbune; 4 – strat de borax; 5 - strat de aliaj special; 6 - electrozi metalici; 7 - baia topită*

În comparaţie cu alte procedee de acoperire sau tratament superficial (cimentarea, nitrurarea, metalizarea prin pulverizare), grosimea stratului de metal depus prin încărcarea prin sudare este mult mai mare, în general, fiind de la 2 până la 10 mm.

Încărcarea prin sudare presupune realizarea unei îmbinări eterogene şi se aplică atât la fabricarea de piese noi (în varianta bimetal), cât şi la recondiţionarea unor piese uzate. Utilizarea unor elemente bimetal are în primul rând o motivaţie economică, întrucât conduce la prelungirea duratei de exploatare a piesei respective, la economie de metal cu caracteristici ridicate, necesare doar în zona activă a piesei respective. În acelaşi timp, utilizarea unui material suport adecvat poate oferi şi avantaje de natură

tehnică, ca de exemplu plasticitate sau prelucrabilitate mai bună. Alegerea materialului de adaos pentru încărcare se face prin analiza condiţiilor de exploatare ale piesei. La ele se atribuie asigurarea caracteristicilor de comportare în regim de exploatare, completate cu o sudabilitate corespunzătoare.

Materialele de adaos pentru încărcare se pot prezenta sub formă de sârmă plină sau tubulară, bandă, electrozi înveliţi sau pulbere.

Din punct de vedere microstructural, aliajele de încărcare dură constau dintr-o matrice moale pe bază de fier, nichel sau cobalt în care există precipitate de fază dure cu boruri, carburi sau compuşi intermetalici.

La aliajele în bază de fier şi cobalt principalele faze dure sunt carburile. Conţinutul de carbon ale acestor aliaje este 4%. Aliajele în bază de nichel conţin atât boruri cât şi carburi. Suma conţinutului de carburi şi boruri în aceste aliaje atinge 5%.

Matricea celor mai multe aliaje de încărcare dură conţine până la 35%Cr, până la 20%Mo şi/sau W cu adaosuri de Si şi Mn.

Alegerea materialului de adaos pentru o operaţie de încărcare prin sudare se face în următoarele etape:

- analiza condiţiilor de exploatare şi identificarea tipului de solicitări şi a caracteristicilor necesare;
- selectarea unor aliaje de încărcare, care permit satisfacerea cerinţelor respective;
- analiza compatibilităţii materialelor de încărcare selectate cu materialul de bază;
- verificarea în condiţii de exploatare a unor piese încărcate şi alegerea materialului optim, în funcţie de durata de viaţă şi costul încărcării;
- alegerea procedeului de încărcare.

10.1. Materiale pentru încărcare

Sârmă pentru încărcare. Sârmă pentru încărcare (GOST 10543 - 75) se confecţionează cu diametrul de la 0,3 până la 8 mm: oţel – carbon – 9 mărci, oţel aliat – 11 mărci şi oţel înalt aliat – 10 mărci. Sârma pentru încărcare se alege în dependenţă de destinaţia şi duritatea necesară a metalului (tabelul 10.1). Ca regulă, încărcarea cu sârmă se realizează prin sudare cu arc electric sub strat de flux pe instalaţii automate, instalaţii semiautomate şi pe instalaţii manuale cu electrozi înveliţi. Tehnica încărcării prevede aplicarea rândurilor de sudură cu acoperire (suprapunerea la 1/3 din lăţimea rândului depus cu pendularea transversală a electrodului).

Electrozi înveliţi. GOST prevede 44 tipuri de electrozi, care asigură duritatea stratului aplicat pe suprafaţa piesei de la 28 până la 66 HRC.

Caracteristicile, domeniile de utilizare şi regimurile de lucru ale unor electrozi sunt prezentate în tabelul 10.2.

Tabelul 10.1. *Marca sârmei pentru încărcare*

Materialul de bază	*Marca sârmei*	*Duritatea stratului topit, HRC*	*Destinaţia*
Oţeluri carbon slab aliate (mai puţin de 0,4% C)	Hn-25, Hn-30, Hn-35, Hn-40, Hn-40Г	40	Arbori cotiţi, arbori principali ai maşinilor-unelte, axe ş.a.
Oţeluri carbon slab aliate (mai mult de 0,4% C)	Hn-45, Hn-50, Hn-65, Hn-80, Hn-50Г, Hn-65 Г	60	Roţile macaralelor, axele de sprijin ale tractoarelor ş.a.
Oţeluri austenitice cu conţinut ridicat de mangan	Hn-25ГВА ş.a.	50	Suporţii în cruce ai căilor ferate, fălcile concasoarelor, dinţii benelor ş.a.
Oţel cu conţinut ridicat de crom	Hn-20X14, Hn-20X13, Hn-40X13	48	Suprafeţele de etanşare ale capetelor pentru vapori şi apă
Oţel cu conţinut de crom şi wolfram (rezistent la căldură)	Hn-45X2B8T, Hn-60X3B10Ф	45	Cuţite pentru tăierea metalului fierbinte, ştanţe pentru ştanţare la cald

Tabelul 10.2. *Electrozi pentru încărcare*

Marca electrodului	*Duritate strat depus, HRC*	*Obiectele încărcate*	*Regimuri de lucru (curent, A), diametrul electrodului, mm*
ОЗН – 250	22...25	Capetele şinelor de cale ferată, piesele vagoanelor, arbori, axe	Curent continuu, polaritate inversă Ø4 mm – 170...200 Ø5 mm – 210...240
ОЗН – 300	24...32	Suporţii vagoanelor, piesele tractoarelor, automobilelor, vagoanelor	Ø4 mm – 170...200 Ø5 mm – 210...240

Tabelul 10.2. (continuare)

O3H – 350	26...37	Suporţii vagoanelor, piesele tractoarelor, automobilelor, vagoanelor	Ø4 mm – 170...200 Ø5 mm – 210...240
O3H – 400	37...40 (după recoacere-26)	Piesele care sunt supuse uzurii şi necesită duritate înaltă	Ø4 mm – 170...200 Ø5 mm – 210...240
T – 590	55...62	Piesele din fontă şi oţel, care funcţionează în medii agresive (fălcile concasoarelor, paletele aspiratoarelor de fum ş.a.)	Curent continuu şi alternativ Ø4 mm – 200...220 Ø5 mm – 250...270
T – 620	58...59	Piesele din oţel şi fontă care rapid se uzează şi funcţionează în medii de uzare intensivă şi sarcini de şoc (fălcile concasoarelor de pietre, dinţii benelor escavatoarelor ş.a.)	Curent continuu Ø4 mm – 200...220 Ø5 mm – 250...270
O3H – 1	54...55(după prelucrarea termică 50... 60)	Scule de tăiat, ştanţe	Ø3 mm – 80...110 Ø4 mm – 120...150 Ø5 mm – 160...200

Fluxuri. Pentru încărcarea semiautomată şi automată se utilizează acelaşi fluxuri, care se folosesc la sudare. Cele mai răspândite sunt fluxurile AH – 348 – A, OCЦ – 45, AH – 60, AH – 20, 48 – OФ – 6, AH – 26, AH – 15M, AH – 8, AH – 25. Pentru încărcarea cu oţeluri austenitice aliate cu crom şi nichel se foloseşte fluxul AH – 26. Pentru încărcarea fontei aliate cu crom se foloseşte fluxul AH – 28. La încărcarea sub strat de flux se utilizează fluxul AH – 8, AH – 25.

La încărcare se folosesc de asemenea fluxuri ceramice. Spre exemplu, încărcarea cu sârme Cb – 08 şi Cb – 008A, a roţilor podurilor rulante, tăvălugilor tractoarelor se realizează cu flux AHK -18. Fluxul AHK

- 19 se utilizează pentru încărcarea muchiilor lucrative ale cupelor buldozerelor, plugurilor răzuitoare (screperilor). Fluxurile ceramice permit obţinerea unui strat de metal cu rezistenţă avansată la uzură la utilizarea sârmei cu conţinut scăzut de carbon.

Sârme tubulare. Sârma tubulară prezintă un înveliş din bandă moale în interiorul căreia se introduce o pulbere, care conţine elemente dezoxidante, de aliere şi zgurifiante. Cu sârmă tubulară se poate realiza încărcarea suprafeţelor sub strat de flux, în gaze de protecţie şi cu arc electric deschis. Se utilizează sârme tubulare de mărcile ПП – AH120, ПП – AH121, ПП – AH122 – pentru încărcarea sub strat de flux a suprafeţelor din oţeluri carbon, ПП – AH170 – pentru încărcarea oţelurilor cu conţinut ridicat de crom. De asemenea se folosesc benzi cu pulbere ПЛ – AH101, ПЛ – AH102 – universale, destinate încărcării suprafeţelor sub strat de flux sau cu arc deschis. La încărcarea cu sârmă tubulară se folosesc curenţi cu valoare mai scăzută, decât la sudare. În această situaţie adâncimea pătrunderii este mai scăzută şi materialul topit (sârma) mai puţin se amestecă cu materialul de bază. Ca consecinţă duritatea metalului depus se măreşte.

Vergele turnate pentru încărcare. Pentru încărcare în mediu de protecţie (argon) se utilizează vergele turnate cu diametrul 6...8 mm şi lungimea până la 400 mm. Vergelele (barele) turnate se folosesc de asemenea pentru executarea electrozilor înveliţi pentru încărcarea manuală, de exemplu, de marca ГН – 1 cu vergea din aliaj sormait (pentru reparaţia şi confecţionarea pieselor supuse uzării intensive), de marca ЦН – 2 cu vergea din stellit B3K (pentru încărcarea armaturii cazanelor cu parametrii mari). Compoziţia chimică a vergelelor turnate este prezentată în tabelul 10.3.

Tabelul 10.3. *Compoziţia chimică a vergelelor turnate pentru încărcare*

Marca aliajului	*C*	*Si*	*Mn*	*Cr*	*Ni*	*W*	*Co*	*Fe*
Sormait în bare	2,5...3,3	2,8...3,5	1,5	25...31	3...5	-	-	restul
BXH –1	0,5...1,2	1,5...2,5	0,5	35...40	50...60	-	-	≤5
B2K	1,75...2,25	1,0...2,0	-	28...32	≤2	14...17	48...53	≤3
B3K	0,9...1,3	1,75...2,75	-	28...32	≤2	4,0...5,0	58...63	≤3

Aliaje granulare (pulverulente). Stalinitul M se confecţionează prin amestecarea prafurilor de ferocrom, feromangan cu cocs de petrol şi aşchii de fontă. Acest amestec se foloseşte pentru încărcarea cuţitelor buldozerelor, vizierelor benelor excavatoarelor ş.a. Duritatea stratului aplicat constituie 52 HRC şi mai mult.

Vocarul este compoziţia din praf (pulbere) de wolfram şi carbon şi se utilizează pentru încărcarea sculelor de perforare a găurilor de mină. Duritatea primului strat HRC – 50...58, iar a celui de-al doilea strat – 61...63.

Visxomul este un aliaj compus din 5% ferocrom, 15% feromangan, 74% aşchii de fontă şi 6% de grafit. Pe larg se foloseşte pentru încărcarea brăzdarelor plugurilor, discurilor, dinţilor boroanelor ş.a. Duritatea stratului aplicat constituie 250...320 HB.

Amestec de prafuri de bor BX (50% borură de crom şi 50% praf de fier). Stratul depus are o duritate de 82...84 HRA.

Amestec de prafuri de carburi şi boruri KBX (5% de carbură de crom, 60% fierocrom, 30% praf de fier).

Tehnica încărcării trebuie să asigure productivitatea avansată, adică o cantitate maximal posibilă de metal topit în unitate de timp. Însă trebuie să fie formarea bună a stratului depus, care ar permite micşorarea adaosurilor de prelucrare mecanică după încărcare.

Productivitatea încărcării depinde de metoda de realizare a ei. De exemplu, la încărcarea manuală cu electrozi înveliţi, productivitatea constituie 0,8...3 kg/h, la încărcarea automată sub strat de flux – 2...15 kg/h, la încărcarea electrică sub strat de flux cu electrod de sârmă – 20...60 kg/h, la încărcarea cu electrozi cu secţiune transversală mare – până la 150 kg/h

La încărcarea suprafeţelor plane este raţional de format rînduri depuse late (de executat procesul cu oscilaţii transversale ale electrodului).

Încărcarea se poate realiza, de asemenea, cu rânduri înguste la o distanţă anumită unul de altul. După aceasta zgura se înlătură de pe toate rândurile depuse şi apoi în spaţiul liber dintre rânduri se încarcă alte rânduri de metal.

Încărcarea pieselor de revoluţie se realizează în lungul generatoarei sau cu rânduri circulare. La sudarea cu electrozi înveliţi axa piesei se aşează orizontal, iar la sudarea cu flacără deschisă cu automat cu tub flexibil – vertical. Încărcarea pe elicoidală este raţional de realizat la diametrele pieselor de revoluţie mai mari de 100 mm.

La încărcarea cu prafuri granulare (vocar, amestec de boruri, sormait, prafuri de mărcile ПН – АН20, ПН– АН31 ş.a.) se foloseşte electrodul din cărbune. Prealabil suprafaţa de lucru se curăţă de rugină, unsoare, murdării. Apoi pe suprafaţă se presoară un strat de borax (0,2...0,3 mm) şi un strat de pulbere de aliaj dur cu grosimea de 2...7 mm şi lăţimea 30...40 mm. Acest strat se nivelează şi se comprimă cu netezitorul.

Procesul de fuziune a grăunţelor aliajelor cu suprafaţa piesei se realizează cu arc electric şi electrod de cărbune cu curent electric continuu cu polaritate directă sau cu curent alternativ cu oscilator. Realizând mişcări transversale şi de translaţie ale electrodului de cărbune, se pot obţine

suprafeţe relativ netede a stratului de metal depus (fig. 10.2). Înălţimea stratului topit se micşorează comparativ cu înălţimea încărcăturii (amestecului de pulberi cu 35...80% (în dependenţă de materialul utilizat pentru încărcare). Încărcarea se poate realiza în câteva straturi, însă grosimea sumară a stratului topit nu trebuie să depăşească 3...4 mm pentru vocare şi 1,4...1,7 mm pentru amestecuri de boruri, pentru a evita fisuri şi fărâmiţări ale stratului depus. Amestecurile de prafuri se pot topi şi cu electrozi metalici, de exemplu cu ЭС2, însă în acest caz duritatea stratului depus scade.

La încărcarea manuală se pot de asemenea utiliza (electrozi) sârme tubulare.

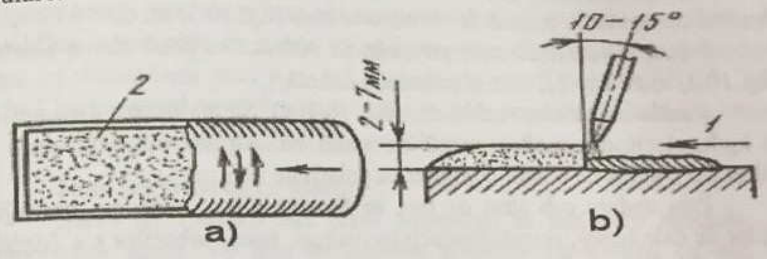


Fig. 10.2. Poziţia electrodului de cărbune în procesul de încărcare cu amestecuri de prafuri: a – deplasarea electrodului; b – vedere dintr-o parte; 1 – direcţia de încărcare; 2 – strat de încărcătură (amestec de prafuri)

10.2. Încărcarea manuală cu arc electric şi electrozi fuzibili

Încărcarea se realizează cu electrozi fuzibili (cu un electrod, cu mănunchi de electrozi, cu electrozi culcaţi, cu electrozi tubulari) cu arc direct sau invers şi cu curent trifazat. Încărcarea cu electrozi se poate realiza în toate poziţiile spaţiale. Ea se execută cu aplicarea consecutivă a rândurilor, prin topirea electrodului, la suprafaţa piesei de încărcat. Suprafaţa supusă încărcării trebuie să fie curată (curăţată până la luciul metalic). Suprafaţa fiecărui rând aplicat (depus) şi locul pentru următorul rând se curăţă de zgură, stropi, calamină.

Pentru obţinerea unui strat monolit al metalului depus, fiecare strat următor trebuie să acopere la 1/3...1/2 din lăţimea rândului precedent. Lăţimea stratului depus constituie 3...6 mm. Dacă este necesar de depus un start de metal mai gros atunci perpendicular pe rândurile primului strat se încarcă rândurile stratului următor. Înainte de a depune al doilea strat, primul strat trebuie curăţat de stropi, calamină, incluziuni de zgură şi alte impurităţi.

10.3. Încărcarea cu arc electric sub strat de flux

Încărcarea cu arc electric sub strat de flux se realizează semiautomat

sau automat, monoelectrod sau multielectrod. Electrozii – sârme utilizate pentru încărcarea sub strat de flux conform construcţiei se împart în sârme pline şi sârme tubulare, iar după formă – circulare şi în formă de bandă.

La lucrările de încărcare prin sudare se urmăreşte să se dea suprafeţelor încărcate anumite proprietăţi. Ca o condiţie principală se impune mărirea pe cât e posibil a cantităţii sârmei topite şi micşorarea adâncimii de pătrundere pentru ca metalul de bază să influenţeze cât se poate de puţin cusătura sudată. Această condiţie nu este îndeplinită la sudarea obişnuită la care se obţine o adâncime mare de pătrundere. Pentru aceasta se aplică una din următoarele metode:

- *sudarea cu arc serie.* Arcul electric se formează între două sârme electrod conectate la o sursă de curent continuu (fig. 10.3, a), $d_e = 5$ mm;
- *sudarea cu două arce paralele.* Se sudează cu două sârme electrod (fig. 10.3, b) cu $d_e = 3{,}2$ mm şi polaritate directă,
- *sudarea cu electrod bandă* (fig. 10.3, c). Se realizează depuneri de 25 kg/h, electrodul fiind în formă de bandă cu secţiune 60 x 0,5 mm. Se utilizează o sursă de curent continuu cu polaritate inversă.

Prin sudare sub strat de flux se încarcă piese uzate ca: bandajele roţilor de cale ferată, şine de încrucişări, valţuri, fusele arborilor ş.a. Metalul depus poate fi de secţiune rotundă sau dreptunghiulară (bandă).

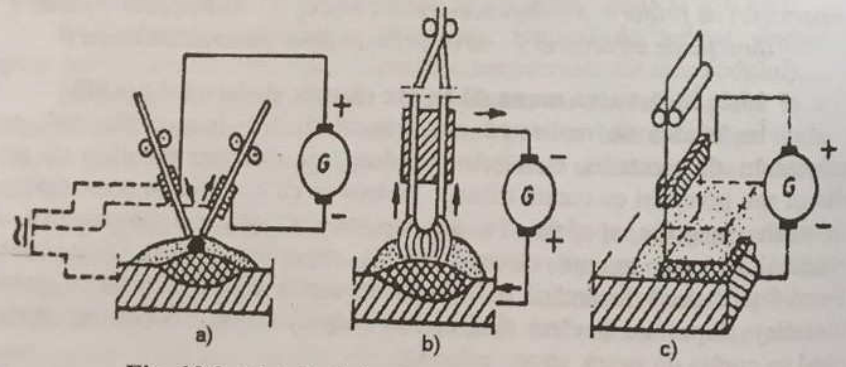


Fig. 10.3. Metode de încărcare prin sudare sub strat de flux

10.4. Încărcarea în gaze de protecţie cu electrod de wolfram (nefuzibil)

Încărcarea în gaze de protecţie cu electrod de wolfram (nefuzibil) se realizează în medii de argon, azot, hidrogen, bioxid de carbon. Productivitatea muncii la încărcare se determină după masa metalului topit sau după suprafaţa încărcată.

10.5. Încărcarea cu arc electric vibratoriu

Încărcarea cu arc electric vibratoriu se realizează cu electrod metalic.

Capătul electrodului vibrează cu o amplitudine de la 0,75 până la 1,0 din diametrul sârmei – electrod.

Încărcarea cu arc electric sub strat de zgură. Acest procedeu de încărcare se caracterizează prin productivitate avansată. Încărcarea se realizează cu formarea forţată a metalului dintr-o singură trecere cu electrozi de diferite secţiuni: bare, bande ş.a. Adâncimea de topire a metalului de bază se poate regla în limite largi.

Încărcarea cu arc electric deschis. Pentru acest procedeu se utilizează sârmă tubulară cu protecţie interioară, care permite lărgirea arealului de folosire a încărcării mecanizate cu materiale rezistente la uzură. În acest caz nu este necesar flux cu gaz de protecţie, de aceea procedeul se caracterizează prin simplitate şi manevrabilitate şi creează posibilităţi de restabilire a pieselor cu forme complicate (suprafeţe interioare înfundate, piese cu dimensiuni mici ş. a.). Consumul de sârmă constituie 1,15...1,35 kg la 1 kg de metal topit. Productivitatea la încărcarea mecanizată avansează de 2...3 ori comparativ cu încărcarea cu electrozi în bucăţi.

10.6. Încărcarea cu plasmă

Sursa de căldură este arcul constrâns, în arzătoare speciale, cu temperatură înaltă. Pe larg se folosesc arzătoare cu plasmă cu arc, cu acţionare directă, care arde între un electrod nefuzibil de wolfram şi piesa care urmează să fie încărcată. Deseori se utilizează arzătoare combinate, în care de la un electrod simultan ard două arce cu plasmă (directă) şi cu jet de plasmă (indirectă). Ca material de adaos se pot folosi sârme, benzi, prafuri ş.a. Un interes practic prezintă mai ales încărcarea cu material de adaos în formă de praf cu granule mărunte. În acest caz se foloseşte arzătorul cu plasmă combinat. Praful cu intervenţia gazului de transport se transmite din alimentator în arzător de unde suflă în arc. În arc, cea mai mare parte de praf se topeşte şi pe suprafaţă care urmează să fie încărcată, pătrund picături de metal de adaos lichid, care se lipesc de piesa de bază.

Se utilizează diferite metode de încărcare cu arc electric constrâns: cu sârmă de adaos (cu arc de plasmă sau cu jet de plasmă), pe strat de pulbere, metoda de transmitere a prafului de adaos în baia topită, metoda de suflare a prafului în arc. Încărcarea cu plasmă permite obţinerea unui strat topit foarte subţire pe suprafaţa de încărcat a piesei, iar adâncimea de topire a metalului de bază este inferioară (0,3 mm).

În figura 10.4, a este prezentată schema procedeului de încărcare pe un strat de praf. Dimensiunile granulelor prafului constituie 0,5...2,5 mm. Arzătorul execută oscilaţii transversale, lăţimea stratului încărcat constituie 50...60 mm, iar înălţimea 5...6 mm, productivitatea 6...8 kg/h, calitatea suprafeţei foarte bună.

În figura 10.4, (b) este prezentată schema procedeului cu

introducerea prafului de adaos în baia topită. El se utilizează pentru încărcarea pieselor supuse uzării abrazive. În baia vâscoasă a suprafeţei se imprimă granule de carbură de wolfram – rezistentă la uzură, care pătrund în partea din urmă a arcului. Conţinutul de carbură de wolfram în baie poate atinge 60...75%. Consumul de praf de carbură de wolfram constituie 3,5...5,0 kg/h, de granule cu dimensiunea 0,1...1,0 mm. Ca bază (matrice) serveşte un strat de oţel 45, 3X2B8, X20H10Г6 sau XH80CP2.

Cel mai universal este procedeul de încărcare cu suflarea prafului în arc (fig. 10.4, c), care se realizează cu arzătoare speciale combinate.

Prin reglarea valorii curentului ambelor arce (cu acţionare directă şi indirectă), variază cantitatea de căldură, consumată la topirea prafului şi la încălzirea şi topirea stratului superficial al metalului de bază. Grosimea minimală a stratului topit constituie 0,25 mm, iar productivitatea – 0,5...0,6 kg/h. Cota metalului de bază în stratul topit se poate schimba de la 5 până la 40%. La depunerea rândurilor cu grosime medie şi mare (mai mare de 2 mm) se asigură productivitate avansată cu pătrundere inferioară. La depunerea straturilor subţiri cu pătrundere scăzută productivitatea este joasă (0,5 kg/h).

Pentru încărcare se folosesc prafuri din aliaje de nichel şi crom. Aliajele de crom şi nichel cu conţinut de bor şi siliciu sunt rezistente la temperaturi până la 950°C, îşi păstrează duritatea înaltă până la temperatura de 750°C şi au stabilitate bună contra coroziunii în soluţii de acizi şi baze. Cu aşa aliaje se încarcă sculele de măsurat, supapele motoarelor cu ardere internă ş.a.

La încărcarea cu transmiterea prafului refractar direct în baia topită se folosesc arzătoare, calculate la un curent până la 400 A, iar la încărcarea cu suflarea prafului în arc – arzătoare pentru curent maximal al arcului indirect (când piesa de sudat nu este introdusă în lanţul de sudare, adică sudarea cu jet de plasmă) – 120 A, iar a arcului direct (cu arc de plasmă) – 200 A.

Frecvenţa oscilaţiilor transversale ale arzătorului se stabileşte de la 8 până la 27 pe minut cu amplitudinea 2,5...25 mm.

Viteza de încărcare este de la 5 până la 50 m/h.

Distanţa de la capătul arzătorului până la suprafaţa piesei constituie 5...15 mm.

Consumul de gaz plasmogen (argon) 1...2,5 l/min.

Consumul gazului de protecţie (argon, azot, argon cu azot ş.a.) – 10...15 l/min. În caz de necesitate pentru evitarea producerii crăpăturilor se utilizează preîncălzirea componentelor de bază la 400...450°C.

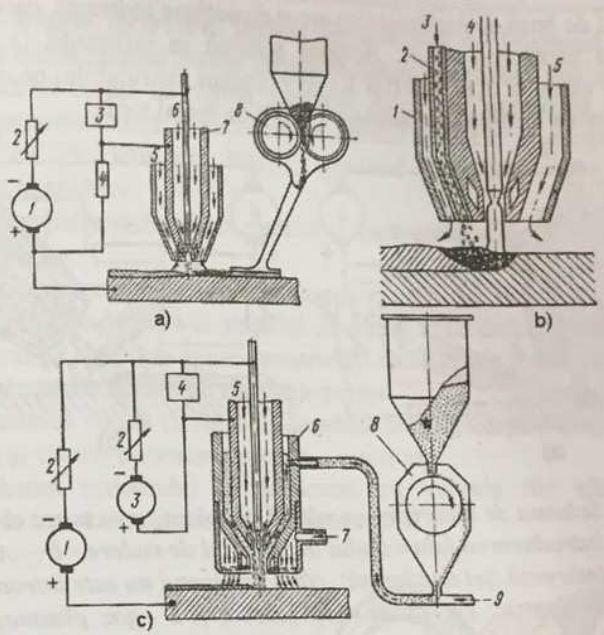


Fig. 10.4. *Procedee de încărcare cu prafuri de aliaje rezistente la uzură:* ***a*** *- încărcarea pe strat de praf: 1 – sursa de curent; 2 – reostat; 3 – oscilator; 4 – rezistenţă de limitare; 5 – canal pentru gaz de protecţie; 6 – canal pentru gaz plasmogen; 7 – ajutaj; 8 – alimentator pentru asigurarea cu praf;* ***b*** *– încărcarea cu introducerea prafului de adaos în baia topită: 1 – arzător; 2 – ţeavă pentru alimentare cu praf greu fuzibil; 3 – introducerea prafului şi gazului de transport; 4 – introducerea gazului plasmogen; 5 – introducerea gazului de protecţie;* ***c*** *– încărcarea cu suflarea prafului în arc: 1 – sursă de alimentare a arcului cu acţiune directă; 2 – reostat; 3 – sursă de alimentare a arcului cu acţiune indirectă; 4 – oscilator; 5 – introducerea gazului plasmogen; 6 – arzător (cap) cu plasmă; 7 – introducerea gazului de protecţie; 8 – mecanism pentru alimentare cu praf; 9 – introducerea gazului de transport*

În figura 10.5 sunt prezentate schemele de încărcare cu arc de plasmă cu utilizarea sârmei de adaos. În figura 10.5,a este prezentată schema metodei de încărcare la care arcul se formează între electrodul de wolfram şi fabricat, topind sârma de adaos şi metalul de bază.

Sârma de adaos poate să nu fie conductoare de curent electric sau să nu fie introdusă în curent prin rezistenţă 7 (prezentată punctat). Când este necesară topirea metalului de bază la adâncime mică, încărcarea se face conform schemei (fig. 10.5, b) cu folosirea sârmei de adaos introdusă în circuitul electric. În acest caz fabricatul nu este introdus în curentul electric,

iar metalul de bază se încălzeşte cu arcul de acţiune indirectă, care arde între electrod şi sârma de adaos. Această schemă se utilizează la încărcarea cuprului şi aliajelor X19H10T şi X19H9 (oţeluri inoxidabile) pe oţel carbon. Productivitatea încărcării constituie 7 kg/h de metal topit.

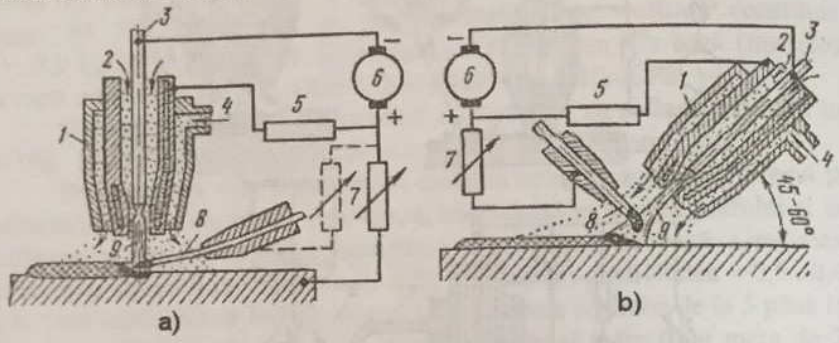


Fig. 10.5. Schema de încărcare cu sârmă de adaos: a – cu arc cu acţiune directă şi introducerea fabricatului în circuitul de sudare; b – cu arc cu acţiune indirectă (jet de plasmă), când fabricatul nu este introdus în circuitul electric: 1 – cap de sudat (arzător); 2 – gaz plasmogen; 3 – electrod de wolfram; 4 – gaz de protecţie; 5 – rezistenţă de limitare; 6 – sursă de alimentare cu curent electric; 7 – reostat; 8 – sârmă de adaos; 9 – arc constrâns

La încărcarea automatizată a supapelor motoarelor automobilelor, în calitate de material de adaos se utilizează inele speciale din metaloceramică (fig. 10.6). Productivitatea încărcării supapelor constituie 100...120 supape pe oră.

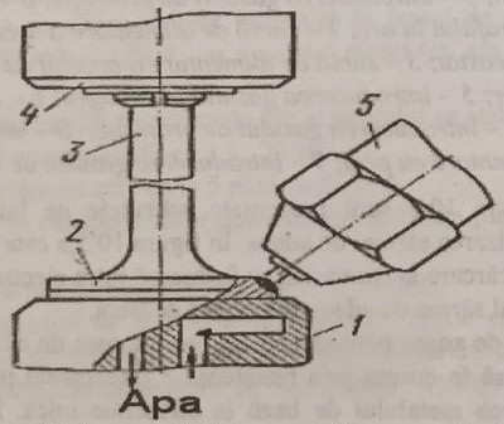


Fig. 10.6. Schema sudării supapei: 1 – suport din cupru; 2 – inel de adaos; 3 – supapă; 4 – mandrina maşinii – unelte; 5 – arzător (cap) cu plasmă

Tehnologia încărcării. Înainte de încărcare se determină grosimea stratului de metal necesar pentru depunere. Suprafaţa piesei, care urmează să fie încărcată se curăţă de rugină, unsoare, umezeală, impurităţi ş. a. După aplicarea primului rând e necesar, ca rândul următor să acopere rândul precedent cu 25...30% din lăţime, păstrând în acelaşi timp înălţimea constantă a suprafeţei.

În dependenţă de marca metalului, încărcarea se poate realiza cu sau fără preîncălzire.

Cerinţele principale, care se impun calităţii încărcării sunt: fuziunea sigură a metalului de bază cu metalul de adaos, lipsa defectelor în stratul de metal aplicat pe suprafaţa piesei, proprietăţi identice ale metalului de bază şi metalului de adaos aplicat pe suprafaţa piesei.

Fuziunea sigură cu metalul de adaos se asigură prin alegerea valorii curentului şi vitezei de avans a sârmei – electrod.

Schema procesului de încărcare cu vergele din aliaje turnate rezistente la uzură este prezentată în figura 10.7.

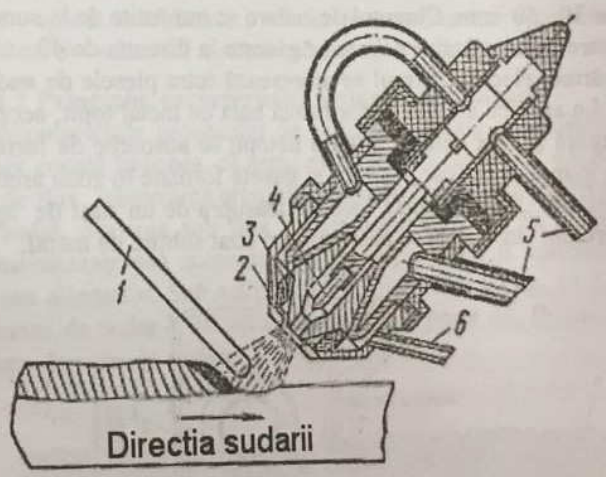


Fig. 10.7. Schema de încărcare cu vergele din aliaje turnate rezistente la uzură: 1 – vergea; 2 – ajutajul de protecţie al capului; 3 – ajutajul de lucru; 4 – electrod de wolfram; 5 - ţevi pentru alimentarea cu apă şi cu curent electric; 6 – ţeavă pentru alimentare cu argon

Instalaţia este compusă din cap de topire, generator ПС – 500, reostat РБ – 300, butelie cu argon, comunicaţii de gaze şi apă, pompa de apă pentru răcirea capului

Capitolul 11

SUDAREA CU ARC ELECTRIC SUB STRAT DE FLUX

Sudarea automată şi semiautomată sub strat de flux în timpul de faţă este procedeul principal de realizare a lucrărilor de sudare în industrie şi construcţii. Având un şir de avantaje importante, procedeul a modificat considerabil tehnologia de confecţionare a fabricatelor sudate, ţevi cu diametre mari, cazane ş. a.

Mecanizarea deplasării sârmei sub strat de flux se realizează cu ajutorul instalaţiei automatizate (capului de sudare, tractorului de sudare). Această instalaţie realizează transmiterea sârmei electrod şi fluxului în zona de sudare, deplasează arcul longitudinal faţă de cusătură şi automat menţine arderea stabilă a arcului.

Sârma electrod *3* (fig. 11.1) cu ajutorul rolelor conducătoare *5* şi condusă de rolele *4* se transmite în zona de lucru *8*. Muchiile pieselor, care urmează să fie sudate 7 în zona de sudare se acoperă cu un strat de granule de flux, care se transmit din buncărul *1*. Grosimea stratului de flux constituie 30...50 mm. Curentul de sudare se transmite de la sursa de curent către electrod prin ajutajul *6*, care se găseşte la distanţa de 40...60 mm de la capătul sârmei electrod. Arcul se amorsează între piesele de sudat şi sârma electrod. La arderea arcului se formează baia de metal topit, acoperită de un strat de zgură şi flux netopit. Fluxul netopit se absoarbe de furtunul *2* şi se transmite înapoi la buncăr. Vaporii şi gazele formate în zona arcului creează în jurul arcului zonă de gaze închisă deasupra de un strat de zgură topită. La baza arcului (în crater) se păstrează un strat subţire de metal.

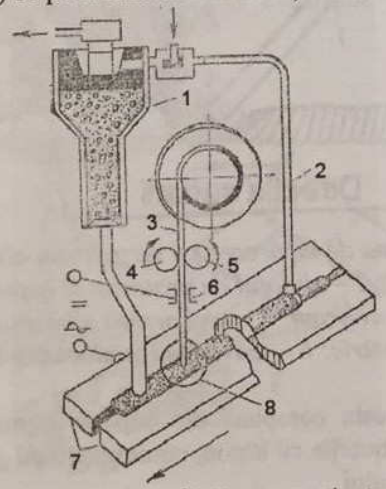


Fig. 11.1. *Schema de principiu a sudării automatizate sub strat de flux*

În aşa condiţii se asigură o pătrundere considerabilă în metalul de bază *7*. Deoarece arcul arde într-un înveliş de gaze, acoperit cu un strat de zgură, se micşorează considerabil pierderile de căldură la sudare.

Procedeul de sudare semiautomat se foloseşte în special la cusături scurte. Sudarea automată se foloseşte pentru cusături lungi, cusături drepte sau circulare. Prezentarea schematică prin secţiune al unui cordon de sudare sub strat de flux este arătată în figura 11.2.

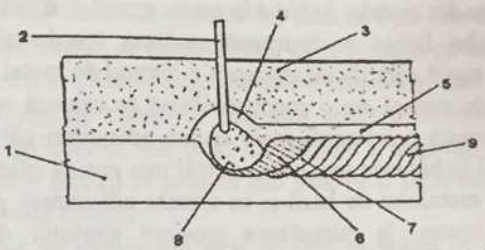


Fig. 11.2. *Secţiune transversală al unui cordon de sudură: 1 – material de bază MB; 2 – sârmă electrod; 3 – stratul de flux;4 – stratul de zgură lichidă, 5 – zgură solidificată; 6 – baia de metal topit; 7 – cordon în stare semilichidă, 8 – material topit din sârmă electrod; 9 – cordon de sudură*

11.1 Principiu, caracteristici, domenii de aplicare

Particularităţile procesului de sudare automată şi semiautomată sub strat de flux constă în aceea, că arcul electric arde nu în aer, dar sub un strat protector de flux. Amorsarea arcului electric se face prin atingerea sârmei de piesa de sudat. Sudarea sub flux se desfăşoară practic în exclusivitate în variante mecanizate sau automatizate. Sudarea poate fi realizată în curent continuu sau alternativ. Sub acţiunea căldurii arcului *9* (fig. 11.3) se topeşte metalul piesei de sudat *8*, sârma electrod *1* şi o parte din fluxul *5*, care este mai aproape de zona de sudare.

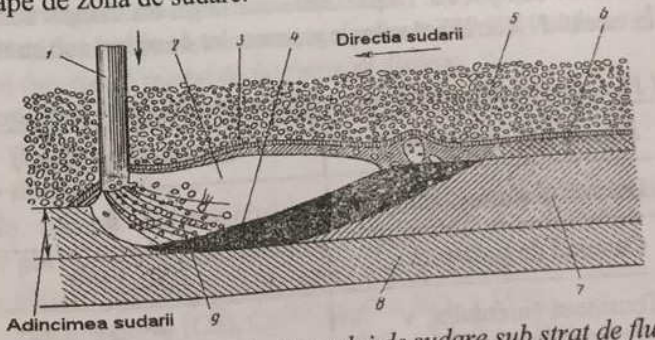


Fig. 11.3. *Schema arderii arcului de sudare sub strat de flux*

Sârma electrod se transmite în jos în zona de sudare cu viteza topirii ei, se topeşte şi trece în cusătură în formă de picături de metal. Simultan

această sârmă se deplasează longitudinal faţă de muchiile pieselor de sudat şi ca urmare se realizează sudarea.

Fluxul topit formează un înveliş elastic de flux şi gaze *2*. Deasupra învelişului este aşezată zgura lichidă *3*. Învelişul de flux şi gaze protejează sigur metalul topit de influenţa dăunătoare a oxigenului şi azotului din aer şi de asemenea de împroşcare (stropire) cu metal topit.

În învelişul de flux şi gaze se creează o presiune de gaze, care împinge o parte din metalul lichid *4* în partea opusă a direcţiei sudării. După răcirea metalului lichid se formează cusătura (cordonul) de sudură *7*, acoperită cu o coajă solidificată de zgură *6*. Stratul de metal lichid dintre arc şi fundul băii de sudură are o conductibilitate de căldură scăzută, de aceea valoarea ei exercită o influenţă mare asupra adâncimii pătrunderii. Cu cât stratul de metal lichid este mai gros, cu atât mai puţină căldură a arcului va acţiona asupra metalului de bază şi ca urmare adâncimea pătrunderii va fi mai mică şi invers, la micşorarea grosimii stratului de metal lichid adâncimea pătrunderii va creşte.

Sudarea sub strat de flux se remarcă prin următoarele caracteristici:

- rată de depunere înaltă;
- calitate bună a sudurii, independentă de îndemânarea operatorului;
- existenţa posibilităţii de aliere a cusăturii prin sârmă, flux sau sârmă şi flux;
- grad de utilizare înalt al materialului de adaos;
- posibilitate de automatizare a procesului;
- lipsa necesităţii de protecţie a ochilor operatorului;
- degajarea redusă a fumului.

Sudarea se realizează numai în poziţie orizontală. În cazul luării unor măsuri de precauţie suplimentară, sudarea poate fi efectuată şi în poziţie orizontală pe perete vertical. Aplicarea sudării sub flux necesită o instalaţie de sudare relativ complicată. După sudare este necesară îndepărtarea zgurii.

În tabelul 11.1 se indică valorile parametrilor de sudare sub strat de flux.

Tabelul 11.1. *Domeniile uzuale ale parametrilor de sudare sub strat de flux*

Parametrul de sudare	*Domeniul de valori*
Diametrul sârmei, mm	2...6
Curentul de sudare, A	200...1400
Tensiunea curentului, V	25...45
Viteza de sudare, cm/min	15...200

Sudarea sub strat de flux se foloseşte pentru realizarea unor îmbinări de grosime relativ mare, cu acces uşor la locul sudării. Pot fi sudate oţeluri carbon, slab aliate şi aliate. Procedeul nu se aplică însă la sudarea fontei, a metalelor neferoase şi reactive. Grosimea minimă sudabilă sub strat de flux este de cca. 2 mm.

Rata depunerii materialului are valori în domeniul 3...40 kg/h, fiind mult mai mare decât la celelalte procedee de sudare cu arc electric

Densitatea de curent la sudarea sub strat de flux este de cca. 25...100 A/mm^2. Spre comparaţie, se menţionează, că la sudarea cu electrozi înveliţi, la acelaşi diametru al electrodului, densitatea curentului este 10..15 A/mm^2. Cauza acestei diferenţe constă în lungimea liberă a electrodului mult mai redusă folosită la sudarea sub flux. Ca urmare a densităţii de curent mai înalte, pătrunderea sudării la sudarea sub flux va fi mult mai mare decât la sudarea cu electrozi înveliţi.

Procedeul de sudare sub strat de flux se aplică în diverse domenii industriale: fabricarea recipientelor şi conductelor, construcţiilor metalice ş. a. Se sudează cu acest procedeu îmbinări de formă liniară sau circulară, de lungime relativ mare în poziţie orizontală.

Sârme pentru sudare. Sârmele pentru sudare sub flux se livrează în bobine sau în colaci, având diametrul sârmei în domeniul 2...8 mm. Compoziţia chimică a sârmei se adaptează compoziţiei chimice a materialului de bază, luând în consideraţie şi efectele metalurgice ale fluxului. Ca regulă, sârmele sunt curate pentru îmbinările contactului electric şi protejarea de oxidare.

Fluxuri. Funcţia principală a fluxului este asigurarea protecţiei băii topite. În acelaşi timp, fluxul are efecte favorabile prin stabilizarea arderii arcului, alierea metalului depus şi micşorarea vitezei de răcire a sudurii prin intermediul startului de zgură care îl produce.

Clasificarea fluxurilor este standardizată (SR EN 760).

În funcţie de modul de fabricare se disting:

- fluxuri topite;
- fluxuri aglomerate;
- fluxuri mixte.

În funcţie de compoziţia chimică a principalelor componente, fluxurile pot fi împărţite în următoarele tipuri:

- silico – manganos (MS), $MnO + SiO_2 > 50\%$;
- silico – calcic (CS), $CaO + MgO + SiO_2 > 55\%$;
- silico – zirconic (ZS), $ZrO_2 + SiO_2 + MnO > 45\%$;
- silico – rutilic (RS), $TiO_2 + SiO_2 > 50\%$;
- alumino – rutilic (AR), $Al_2O_3 + TiO_2 > 40\%$;

- alumino – bazic (AB), $Al_2O_3 + CaO + MgO > 45\%$;
- fluoro – bazic (FB), CaO, MgO, MnO, $CaF_2 > 50\%$, ($SiO_2 < 20\%$, $CaF_2 > 15\%$).

Fluxurile (MS) produc, de regulă, o aliere puternică cu mangan a metalului depus. Sunt puţin sensibile la rugină, ulei şi permit sudarea cu viteză mare. Se utilizează la sudarea în multe treceri cu curenţi până la cca. 1100 A.

Fluxurile (CS) se caracterizează prin gradul de aliere cu siliciu. Un nivel scăzut de aliere cu siliciu conduce la sensibilitate redusă la fisurare şi rugină, dar şi la posibilitatea sudării cu curenţi relativ scăzuţi. În cazul unor fluxuri cu aliere pronunţată cu siliciu se obţine o sudură cu pătrundere mare, cu posibilitatea de sudare cu curenţi până la 2500 A. Se recomandă pentru sudarea dintr-o trecere.

Fluxurile (AR) se utilizează pentru sudarea cu viteze mari. Zgura se detaşează uşor. Se utilizează, în special, pentru suduri în colţ.

Fluxurile (AB) au caracter bazic, asigurând o puternică aliere cu mangan. Metalul depus are caracteristici mecanice înalte cu tendinţa scăzută de fisurare.

Fluxurile (FB) de tip bazic asigură realizarea unor suduri cu tenacitate înaltă, foarte scăzută la fisurare.

Toate tipurile de fluxuri pot fi utilizate la sudarea cu curent continuu, polaritate inversă. Pentru sudarea cu curent alternativ se prestează fluxurile, care permit operarea cu curenţi de sudare mari. Fluxurile au diferite granulaţii (0,08...2,5 mm).

O granulaţie fină se foloseşte atunci când se urmăreşte obţinerea unei cusături cu suprafaţa netedă sau când se sudează cu curenţi mari. O granulaţie mare permite o degazare mai bună a băii lichide, ceea ce este avantajos în cazul sudării cu viteze mari sau pe piese cu suprafeţe impurificate (murdare).

Fluxurile trebuie depozitate în încăperi cu umiditate controlată, fiind ambalate în saci sau bidoane închise ermetic. Pentru eliminarea umidităţii, înainte de utilizare, fluxurile trebuie uscate la o temperatură recomandată de producător.

Orientativ, uscarea fluxurilor topite se face la o temperatură de cca. 250°C (2 ore), iar a celor aglomerate la o temperatură de 300...350° C (2,5...3 ore). Avînd în vedere faptul, că în timp proprietăţile fluxului se deteriorează (în special calitatea liantului – silicatul de sodiu), fluxurile trebuie utilizate într-o perioadă de maxim 3 ani de la fabricare, conform prescripţiei producătorului.

11.2. Influenţe metalurgice la sudarea sub strat de flux

Toate fenomenele au loc în spaţiul închis al arcului electric (fig. 11.4), unde se formează o atmosferă reducătoare, fără posibilitatea pătrunderii aerului. Reacţiile metalurgice dintre baia de sudură şi zgură topită sunt mai intense iar pierderea de elemente este neînsemnată din cauza acoperirii zonei de sudare.

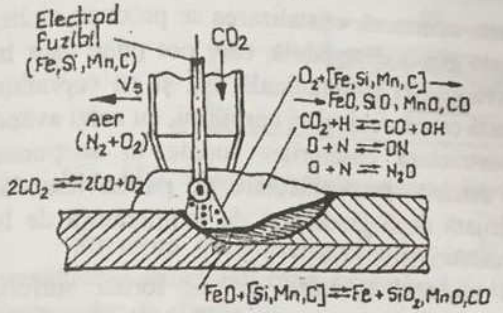


Fig. 11.4. Elementele proceselor metalurgice la sudarea sub strat de flux

Sudarea în CO_2 se caracterizează prin formarea unui arc electric descoperit, reacţiile metalurgice având loc numai în baia de sudură pe seama elementelor de aliere introduse din metalul de bază şi de adaos (fig. 11.5).

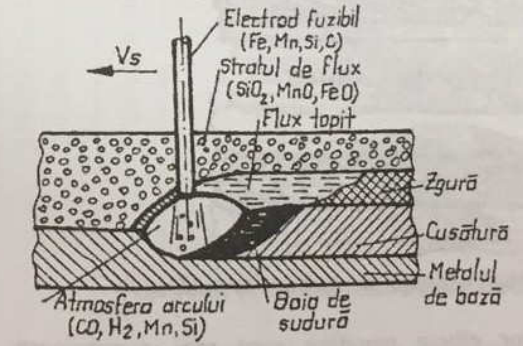


Fig. 11.5. Elementele proceselor metalurgice la sudarea în CO_2

Atmosfera protectoare are o influenţă negativă deoarece se produce disocierea bioxidului de carbon, punând în libertate oxigen care poate oxida baia de sudură.

Pentru compensarea acestei influenţe este necesar ca metalul de adaos să fie aliat cu siliciu (0,6...0,05%) şi mangan (1,4...2,16%), chiar şi la sudarea oţelurilor carbon. Sudarea oţelurilor aliate în CO_2 este nerecomandabilă cu excepţia oţelurilor aliate cu mangan. Totuşi proprietăţile mecanice şi de plasticitate ale cusăturilor sudate în CO_2 rezultă superioare, deoarece se produce arderea şi eliminarea elementelor însoţitoare (PSNH).

11.3. Structura cusăturilor de sudare

Structura cusăturilor sudate este determinată de compoziţia chimică, gradul de supraîncălzire, vitezele de încălzire şi răcire şi de intensitatea reacţiilor metalurgice din baia de sudură. În toate cazurile, cusătura rezultă ca o structură de turnare, de obicei dendritică, obţinută prin solidificarea băii de sudură.

Deşi viteza de sudare este constantă, cristalizarea se produce ciclic, formându-se straturi de metal de grosime variabilă, care pot pune uşor în evidenţă atât în secţiune transversală şi longitudinală, cât şi pe suprafaţa cusăturii, care prezintă din această cauză denivelări curbilinii, cu solzi având forma băii de sudură. Monostructura cusăturilor sudate în secţiunea transversală este formată din dendrite perpendiculare pe partea laterală, determinate de cristalizarea dirijată după gradientul de temperatură de la metalul de bază spre mijlocul cusăturii (fig. 11.6).

Din această cauză, în mijlocul cusăturii se pot forma sulfuri, incluziuni de zgură, crăpături de cristalizare segregaţii de elemente de aliere.

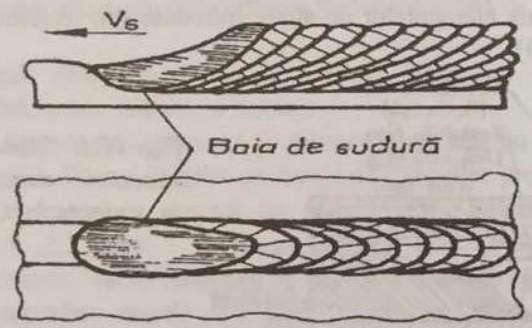


Fig. 11.6. Aspectul macroscopic al cusăturilor sudate

Pentru reducerea acestor efecte negative sunt mai avantajoase cusăturile plate cu coeficientul de formă $\psi = B/H = 1{,}5 - 3$, determinând astfel eliminarea impurităţilor spre stratul de zgură. În apropierea suprafeţei cusăturii se obţine un strat de metal cu grăunţi echiaxiali, ca urmare a influenţei termice a zgurii.

Datorită influenţei termice a băii de sudură, în jurul metalului cusăturii depuse se formează o zonă cu structură mai fină (fig. 11.7). Astfel, rezultă că prin sudarea în mai multe starturi, alegând corespunzător numărul de treceri, se poate obţine ca toată cusătura sudată să primească o structură fină, nominalizată (fig. 11.8).

Având în vedere conţinutul redus de carbon a oţelurilor destinate construcţiilor sudate (0,1...0,2% C), microstructura cusăturilor este totdeauna ferito-perlitică dendritică.

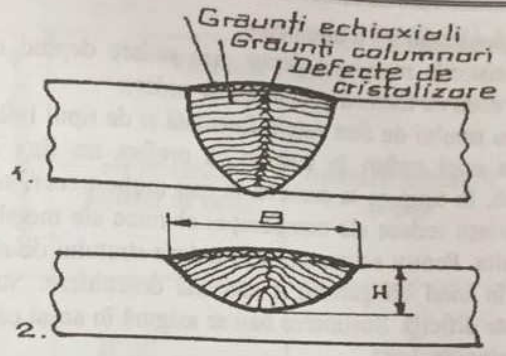


Fig. 11.7. Macrostructura unor cusături sudate din două treceri

Structura cusăturilor oţelurilor înalt aliate este la fel dendritică, constituenţii structurali fiind determinaţi de influenţa în ansamblu a tuturor elementelor de aliere.

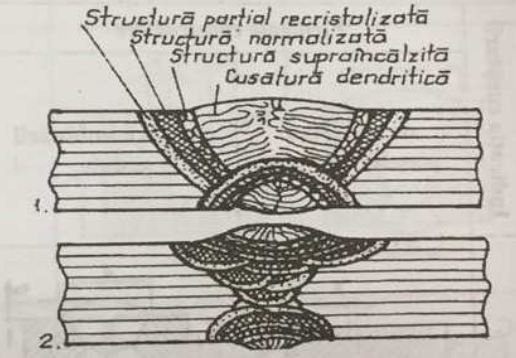


Fig. 11.8. Macrostructura unor cusături din multe treceri

Astfel, la oţeluri înalt aliate cu crom constituentul de bază este ferita, care are conţinut diferit de martensită în funcţie de conţinutul de carbon.

La oţelurile crom – nichel structura de bază este austenitică în care pot apare diferiţi constituenţi ca ferita şi martensita.

A – sudarea automată sub strat de flux;

S – sudarea semiautomată sub strat de flux;

A_f – sudarea automată sub strat de flux pe perină de flux;

A_m – sudarea automată sub strat de flux pe suport de cupru;

A_{ss} – sudarea automată sub strat de flux cu depunerea (manuală) preventivă a unui strat de sudură la rădăcină;

S_{ss} – sudarea semiautomată sub strat de flux cu depunerea (manuală) preventivă a unui strat de sudură la rădăcină.

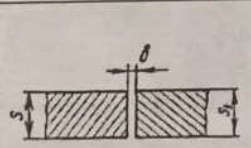
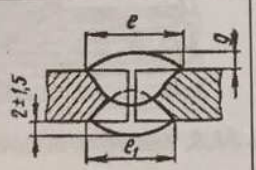
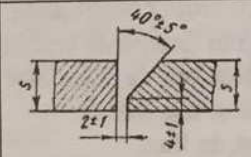
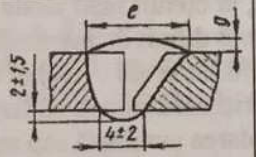
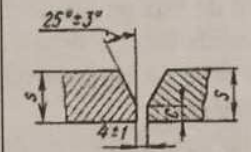
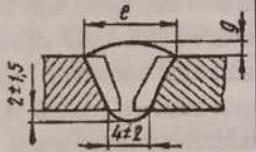
11.4. Recomandări tehnologice

Caracteristicile metalului depus prin sudare depind de combinaţia sârmă-flux, corelată cu tehnica operatorie de sudare.

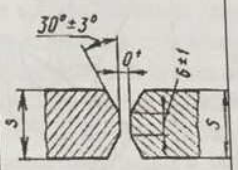
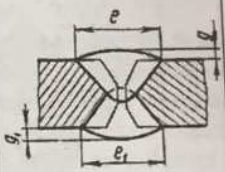
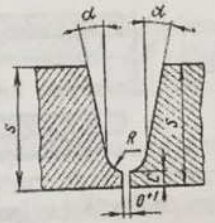
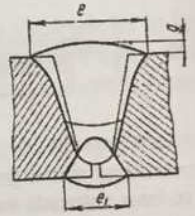
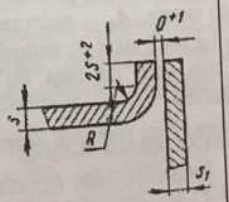
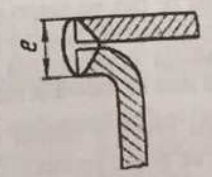
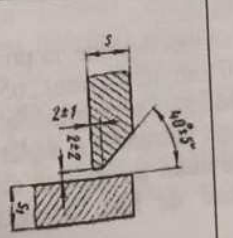
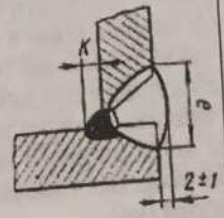
Alegerea tipului de flux este influenţată şi de tipul îmbinării. Astfel, pentru execuţia unei suduri în colţ se va prefera un flux ce produce o dereglare redusă, în timp ce la sudarea în mai multe treceri se cere un flux care asigură variaţii reduse ale compoziţiei chimice ale metalului depus de la o trecere la alta. Pentru asigurarea pătrunderii stratului de rădăcină rostul de sudare are în mod obligatoriu o anumită deschidere. Sudarea dintr-o singură parte este dificilă. Susţinerea băii se asigură în acest caz prin suporţi de cupru sau perine de flux.

Diametrul sârmei se alege în funcţie de tipul materialului de bază, tehnica operatorie şi de valoarea curentului de sudare.

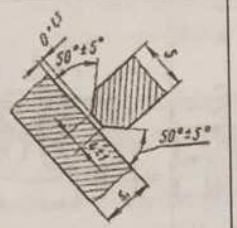
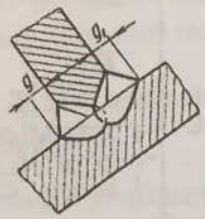
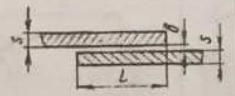
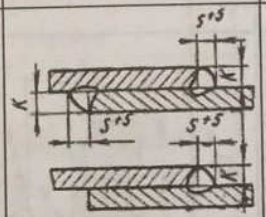
Tabelul 11.2. *Elementele constructive ale rosturilor şi cusăturilor realizate la sudarea automată şi semiautomată sub strat de flux*

Tipul îmbinării	Forma pregătirii rostului	Indicaţia cusăturii	Elemente constructive: ale rosturilor pieselor de sudat	Elemente constructive: cusăturii îmbinării sudate	Metoda de sudare	Limitele grosimilor pieselor sudate, mm
Cap la cap	Fără prelucrarea capetelor	C			A, S	20...6
Cap la cap	Cu teşirea unei muchii	C			Af, Am	8...20
Cap la cap	Cu teşirea ambelor muchii	C			Af, Am	8...24

Tabelul 11.2. (continuare)

Tipul îmbinării	Forma pregătirii rostului	Indicaţia cusăturii	Elemente constructive: ale rosturilor pieselor de sudat	Elemente constructive: cusăturii îmbinării sudate	Metoda de sudare	Limitele grosimilor pieselor sudate, mm
Cap la cap	Cu două teşituri simetrice ale ambelor muchii	C			A, S	20...60
Cap la cap	Cu teşirea curblineară a ambelor muchii	C			A	24...160
În unghi	Cu îndoirea capătului unei piese	U1			A, S	1,5...3
În unghi	Cu teşirea unei muchii	U			Ass, Sss	8...20

Tabelul 11.2. (continuare)

Tipul îmbinării	Forma pregătirii rostului	Indicaţia cusăturii	Elemente constructive		Metoda de sudare	Limitele grosimilor pieselor sudate, mm
			ale rosturilor pieselor de sudat	cusăturii îmbinării sudate		
În „T”	Cu teşirea ambelor muchii	T			A, S	16...40
Prin suprapu-nere	Fără prelucrarea muchiilor	S			A, S	1...20

Observaţii ***A*** – sudarea automată sub strat de flux; ***S*** – sudarea semiautomată sub strat de flux;

A_f – sudarea automată sub strat de flux pe perină de flux; A_m – sudarea automată sub strat de flux pe suport de cupru; A_{ss} – sudarea automată sub strat de flux cu depunerea (manuală) preventivă a unui strat de sudură la rădăcină;

S_{ss} – sudarea semiautomată sub strat de flux cu depunerea (manuală) preventivă a unui strat de sudură la rădăcină

Lungimea liberă a sârmei influenţează bilanţul energetic la sudare. Prin mărirea ei se poate produce o încălzire mai accentuată a sârmei şi ca efect, o creştere a ratei de depunere. O lungime liberă prea mare conduce la uzura rapidă a contactelor electrice şi la un proces de sudare instabil cu oscilaţii ale lăţimii şi pătrunderii sudurii.

Valoarea lungimii libere a sârmei depinde, în primul rând, de diametrul sârmei, având valori în domeniul 20 mm (d_e = 2 mm)...65 mm (d_e = 6 mm).

Geometria sudării este influenţată şi de granulaţia fluxului. Astfel, cu cît granulaţia este mai mare, cu atât pătrunderea sudării va fi mai mare, iar lăţimea ei mai mică. Înălţimea stratului de flux se alege astfel încât arcul electric să fie acoperit. Consumul de flux la sudare este apropiat de consumul de sârmă (kg).

Înainte de sudare este necesară prinderea provizorie prin sudare a

pieselor de sudat sau fixarea lor în dispozitive speciale. Pentru creşterea ratei depunerii de metal au fost dezvoltate variante ale sudării sub flux, care asigură topirea simultană a mai multor sârme: sudarea cu arce gemene; sudarea cu mai multe sârme; sudarea cu sârmă caldă.

11.5. Informaţii generale despre construcţia instalaţiilor de sudare sub strat de flux

Sudarea mecanizată cu arc electric şi cu arc electric sub strat de flux poate fi automată sau semiautomată. Aceste procedee se deosebesc prin nivelul de mecanizare a unor operaţii.

La sudarea automatizată sunt mecanizate operaţiile principale, direct legate cu procesul de sudare. La ele se atribuie:

- amorsarea arcului electric la începutul procesului de sudare;
- deplasarea sârmei electrod în zona de sudare cu viteza de topire a ei;
- menţinerea arderii stabile a arcului în procesul de sudare;
- deplasarea sârmei electrod în lungul cusăturii cu viteza de sudare;
- protejarea metalului lichid a băii topite de influenţa dăunătoare a oxigenului şi azotului din aer;
- sudarea craterului de la sfârşitul cusăturii şi terminarea procesului de sudare.

La sudarea semiautomată deplasarea electrodului în lungul cusăturii, ca regulă, nu este mecanizată, dar se realizează de către sudor manual. În dependenţă de nivelul mecanizării deosebim automate, semiautomate sau instalaţii (maşini) de sudare.

Instalaţie (maşină) de sudare se numeşte agregatul care include:

- utilaje electrice de sudare, automate sau semiautomate, surse de curent electric, aparatura de dirijare ş. a.;
- utilaje mecanizate, destinate fixării şi deplasării instalaţiilor de sudare şi de asemenea instalării, fixării şi rotirii componentelor de sudat (manipulatoare, cântuitoare, standuri cu role, mecanisme de rotire ş.a.);
- utilaje auxiliare, necesare pentru încărcarea şi strângerea fluxului, uscarea şi încălzirea gazului de protecţie, alimentarea cu curent electric ş. a.

11.6. Mecanisme pentru sudarea automată sub strat de flux

Înlocuirea sudării manuale cu sudarea automatizată conduce la avansarea productivităţii muncii şi calităţii îmbinărilor sudate. Pentru cusături mai lungi de 2 m, sudarea automată este mai economică decât sudarea manuală. La sudarea automatizată operaţiile principale ale procesului – aprinderea (flăcării) arcului, deplasarea electrodului (sârmei) corespunzător cu topirea lui, menţinerea lungimii permanente a arcului, deplasarea arcului electric pentru realizarea cusăturii şi stingerea arcului se realizează automat. Aceste operaţii de sudare se înfăptuiesc de către tractoare de sudare sau de capete autodeplasabile. În unele construcţii capul de sudat este staţionar, dar deplasarea necesară se realizează de către componentele de sudat.

La automatele de sudare operatorul realizează numai reglarea şi

verifică demararea procesului, introduce şi deconectează automatul.

Capetele automate şi tractoarele de sudare se confecţionează de două tipuri: cu viteza constantă de avans a sârmei electrod în procesul de topire al ei şi cu viteză variabilă de avans al sârmei electrod.

Automatele cu viteză constantă de avans a electrodului (sârmei) sunt mai simple în construcţie şi dirijare, ele funcţionează stabil datorită autoreglării arcului. Procesul de autoreglare a arcului constă în aceea, că la micşorarea lungimii arcului, tensiunea lui scade, iar curentul în arc avansează, cu mărirea curentului avansează topirea capătului sârmei (electrodului) şi lungimea arcului se restabileşte până la mărimea iniţială (prescrisă); la alungirea arcului procesul de autoreglare decurge în ordine inversă. Automatele cu viteză constantă de avans a sârmei în zona arcului au o răspândire largă la noi în ţară precum şi în alte ţări. Automatele cu avansul variabil al sârmei (electrodului) comparativ cu automatele cu viteză de avans constantă sunt mai complicate în construcţie şi în dirijare, de aceea ele sunt mai puţin răspândite.

11.7. Instalaţii pentru sudarea automată sub strat de flux

Schema instalaţiei pentru sudarea automată sub strat de flux este prezentată în figura 11.9. În calitate de aparat de sudat se foloseşte capul de sudat *4*, destinat amorsării automate a arcului; alimentării continue cu sârma electrod a zonei arcului; menţinerii stabile a arderii arcului şi opririi procesului de sudare.

Ca utilaj electric de sudare se foloseşte transformatorul *1*. Ca surse de curent electric de asemenea pot fi redresoarele de sudare sau convertizoarele de sudare. Toate aparatele electrice ale instalaţiei (transformatorul coborâtor şi mecanismele de cuplare şi comutare, siguranţele, aparatele electrice de măsurat ş.a.) sunt instalate în dulapul (lada) de dirijare *2*.

În calitate de utilaje mecanice în instalaţia prezentată se foloseşte căruciorul autopropulsant *8* cu coloana *9*, pe consola căreia este fixat capul de sudare. La sudarea cusăturilor longitudinale fabricatul *5* se fixează staţionar, iar căruciorul automat se deplasează pe şinele *7*, deplasând capul de sudat în lungul cusăturii cu viteza de sudare. La sudarea cusăturilor circulare capul de sudare este fixat staţionar, iar fabricatul instalat pe standul cu role *6* uniform se roteşte cu viteza de sudare.

Pe capul de sudat este fixată aparatura pentru flux *3*, care asigură transmiterea uniformă a fluxului din buncherul *4* în zona de sudare şi absorbţia fluxului rămas netopit înapoi în buncher.

Capul de sudat împreună cu aparatura pentru flux formează automatul de sudare. În cazul dat automatul de sudat este suspendat. Dacă în construcţia automatului suspendat este prevăzut un mecanism pentru deplasarea lui pe şinele de ghidare în lungul fabricatului de sudat, atunci aşa automat se numeşte autopropulsant (fig. 11.10).

Dacă în construcţia automatului autopropulsant este prevăzut un cărucior, care se poate deplasa direct pe fabricatul de sudat, atunci aşa

automat se numeşte tractor de sudat (fig. 11.11).

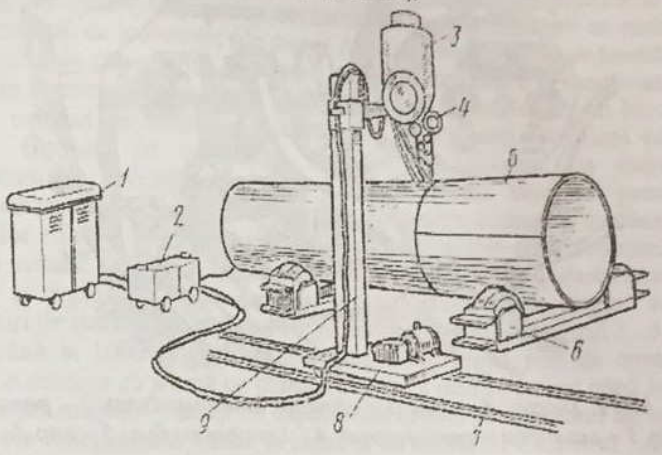


Fig. 11.9. Schema instalaţiei pentru sudarea automată cu arc electric sub strat de flux

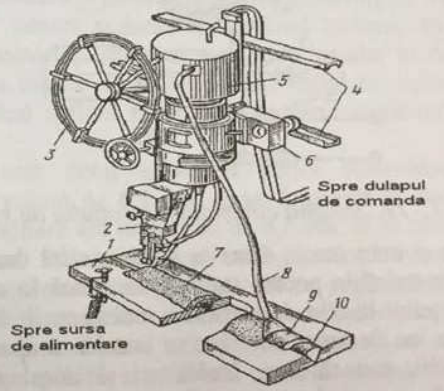


Fig. 11.10. Automat de sudare autopropulsant: 1 – componentele de sudat; 2 – cap de sudare; 3 – sârmă electrod; 4 – şine de direcţionare; 5 – buncher cu flux; 6 – cărucior autopropulsant; 7 – rămăşiţă de flux netopit; 8 – furtun pentru aspiraţia fluxului rămas; 9 – strat de zgură; 10 – cusătură

În orice automat de sudat ansamblul principal este capul e sudat (fig. 11.12). Principiul de funcţionare a capului de sudare constă în următoarele: motorul electric *1* prin reductorul *2* roteşte rola de avans *3*, la care cu rola de strângere *7* şi arcul *6* se strânge sârma electrod *8*. Curentul electric către sârma electrod se transmite prin duza conducătoare de curent *5*. Sârma pătrunde din bobina instalată în caseta *9*. Între capătul sârmei electrod şi fabricatul *4* arde arcul electric, care topeşte sârma şi suprafeţele componentelor care urmează să fie sudate.

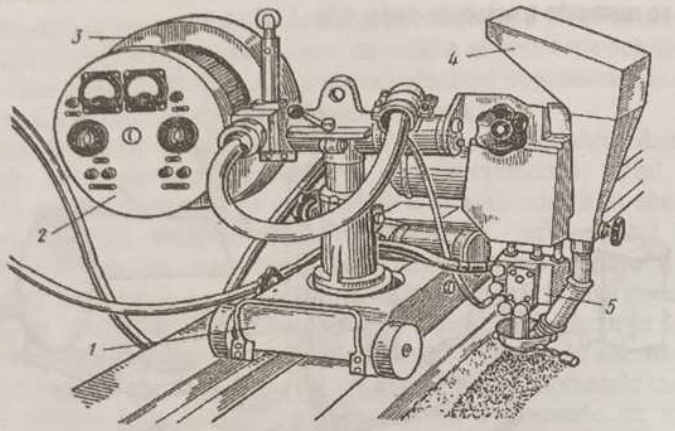


Fig. 11.11. Tractor de sudat: 1 – cărucior autopropulsant; 2 - panou de dirijare; 3 – casetă cu sârmă electrod; 4 – buncher cu flux; 5 – cap de sudare

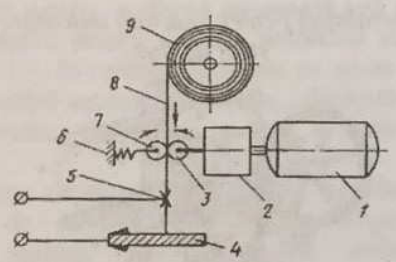


Fig. 11.12. Schema cinematică a capului de sudare

Instalaţiile şi automatele descrise anterior sunt destinate sudării sub strat de flux. În instalaţiile pentru sudarea automată în mediu de gaze de protecţie (argon, heliu, bioxid de carbon şi amestecurile lor) în calitate de utilaje auxiliare în loc de aparat de flux se instalează aparatura pentru gaz, care include butelii, reducătoare, încălzitori şi instalaţii pentru uscarea gazului, supape, furtunuri, duze, etc. Construcţia aparatului de sudat, în acest caz, suferă modificări neînsemnate. În figura 11.13 sunt prezentate vederile generale ale unor automate de sudare.

11.8. Tractor de sudare TC – 17MУ

Tractorul de sudare universal TC – 17MУ prezintă un aparat portabil (transportabil), destinat sudării sub strat de flux. Sudarea se realizează la deplasarea tractorului pe rigla (linia) de ghidare, instalată paralel cu cusătura sau direct pe fabricat. El permite sudarea îmbinărilor cap la cap, unghiulare (cu electrod vertical sau înclinat) şi de asemenea îmbinărilor prin suprapunere cu grosimea metalului de la 2 până la 20 mm.

Automatul de sudat include: tractorul de sudat, cu aparatura de comandă şi un set de ansambluri şi piese de rezervă. Ca sursă de curent se foloseşte un transformator de sudare.

Tractorul de sudare (fig. 11.14) prezintă un cărucior autotractat dotat cu un cap de sudare. Deplasarea tractorului în lungul cusăturii se realizează cu mecanismul de locomoţie (de mers) *14*, iar sârma electrod se transmite în zona arcului de către capul de sudare *4*. Capul de sudare şi mecanismul de locomoţie împreună cu motorul electric *13* sunt montate într-un bloc, care prezintă carcasa de susţinere a tractorului. Pe carcasă este fixat suportul pivotant (rotitor) pe care sunt instalate: mecanismul de îndreptare, mecanismul de corecţie, tamburul *9* pentru sârma electrod, panoul de dirijare cu tractorul *5* şi panoul auxiliar *10* pentru comanda mecanismelor standurilor cu role, manipulatorilor şi altor mecanisme cu telecomandă. Tot aici este instalat ajutajul *2*, destinat aducerii curentului de sudare către sârma electrod şi deplasarea ei în zona de sudare. Tractorul se asigură cu două muştiucuri de sudare. La sudarea cu sârmă electrod cu diametrul 3...5 mm în curent până la 1000 A se foloseşte muştiuc cu două role de contact din bronz. La sudarea cu sârmă cu diametrul 1,6...2 mm în curent până la 600 A se utilizează muştiuc – ţeavă cu capătul din bronz. Mecanismul de îndreptat cu trei role funcţionează numai la sudarea cu sârmă cu diametrul 1,6...2 mm îndreptarea sârmei nu este necesară.

Mecanismul de corecţie serveşte pentru deplasarea electrodului transversal către cusătură şi pentru înclinarea transversală a muştucului la un unghi până la 45° pentru sudarea cu electrod înclinat. El constă dintr-un melc, instalat pe suport şi sectorul melcat *3*, instalat în carcasa motorului electric. La ambele capete ale melcului sunt instalate roţile de mână *12*. La rotirea roţii de mână melcul rulează pe sectorul staţionar şi roteşte capul tractorului.

Tractorul este dotat cu două pâlnii schimbătoare *11*. Pâlnia principală are un volum de 6,5 cm^3 şi se foloseşte la sudarea cu electrod vertical. Pâlnia auxiliară are un volum de 4,5 cm^3 şi se utilizează la sudarea cu electrod înclinat. Pâlnia de bază este dotată cu racord de alimentare (reglabil), la deplasarea căruia pe verticală se reglează stratul de flux. Pe racord este instalat un indicator cu care se verifică direcţia arcului şi jocul dintre muchiile sudate. Pentru îndreptarea manuală a sârmei electrod în lungul cusăturii, pe pâlnie este fixată roata de mână *6*. Pe carcasă este instalat voltmetrul *8*, care indică tensiunea arcului.

Deplasarea tractorului se realizează cu două roţi conducătoare *16*. Pentru deplasarea manuală a tractorului pe axa roţilor conducătoare sunt prevăzute o mufă de fricţiune cu două roţi de mână *15*, instalate pe ambele părţi ale tractorului.

La rotirea roţii de mână în direcţie opusă acelor de ceasornic, mufa se decuplează şi arborele roţilor se decuplează de la motorul electric. Şasiul din faţă a tractorului constă din traversă fixată de carcasa motorului electric şi două tije deplasabile, pe care sunt instalate roţile (sau rolele) conduse *1*. Roţile conducătoare şi conduse sunt izolate de carcasă şi sunt dotate cu şine de cauciuc. Aceasta asigură aderenţa bună a roţilor cu suprafaţa metalului.

Pentru deplasarea tractorului pe rigla de ghidare pe roţile din dreapta sunt prevăzute canale *17*. Pentru mutarea tractorului este instalat mânerul *7*.

Universalitatea tractorului se asigură cu piese şi ansambluri schimbabile, cu ajutorul cărora se poate regla tractorul la sudarea diferitor feluri de îmbinări.

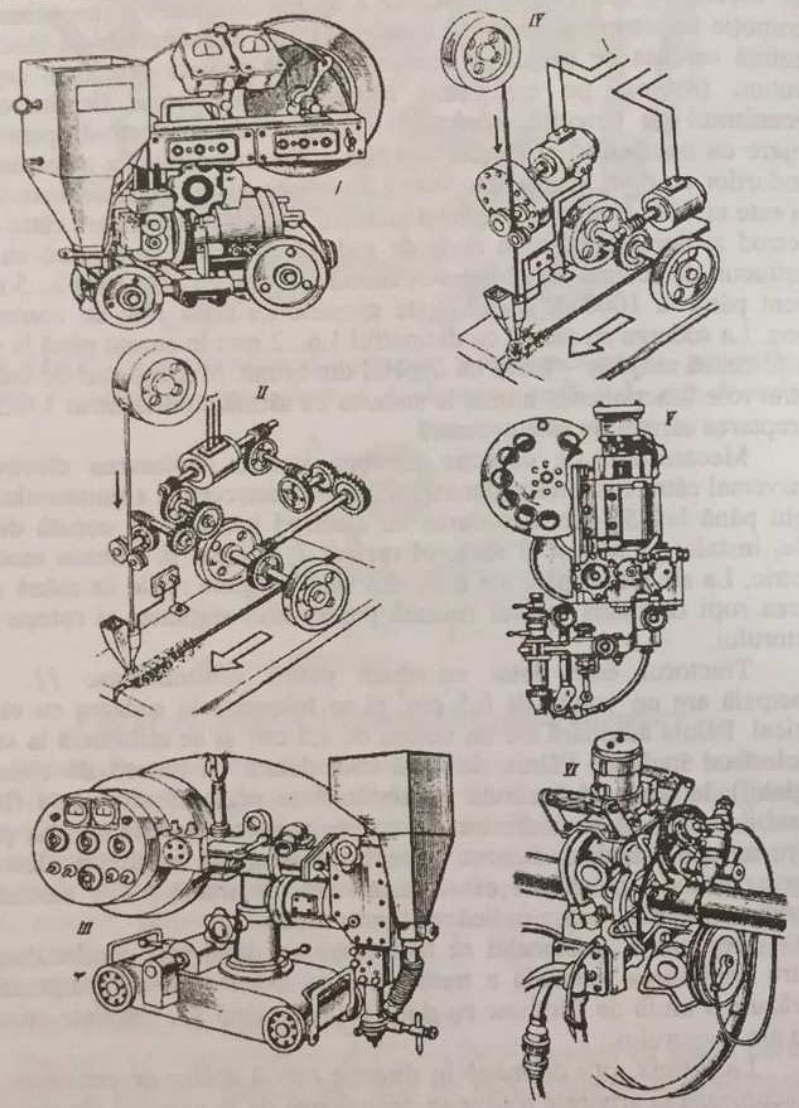


Fig. 11.13. *Tractoare şi capete de sudat: I – tractor sudor TC – 17M; II – schema cinematică a tractorului TC -17M; III – tractor sudor ADS1000 – 2; IV – schema cinematică a tractorului ADS1000 – 2; V – capăt de sudat în mediu de argon cu electrod de wolfram şi sârmă de adaos AVG – 2; VI – automat pentru sudarea capetelor ţevilor în argon cu electrod de wolfram şi sârmă de adaos*

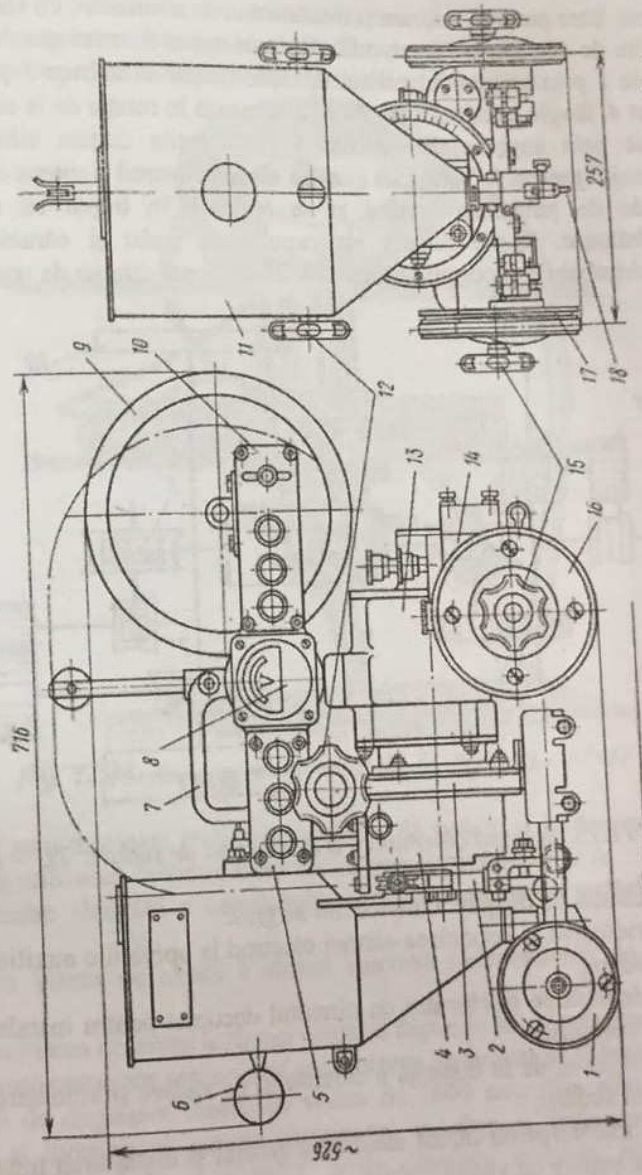


Fig. 11.14. *Tractor de sudare TC – 17MY, reglat pentru sudarea îmbinărilor cap la cap fără prelucrarea muchiilor*

Schema cinematică a tractorului este prezentată în figura 11.15. Particularitatea acestei scheme este că în ea acţionează un singur motor electric, care pune în mişcare şi mecanismul de alimentare cu sârmă electrod şi roţile de deplasare a tractorului. Rola de avans *5* se roteşte de la motorul electric *1* prin angrenajul melcat *2*, roţile dinţate cilindrice *3* şi angrenajul melcat *4*. Roţile conducătoare *10* se antrenează în rotaţie de la acelaşi motor electric prin angrenajele melcate *6* şi *7*, roţile dinţate cilindrice *8* şi angrenajul melcat *9*. Viteza de avans a sârmei electrod şi viteza de sudare nu depinde de tensiunea arcului şi se reglează în trepte cu roţi dinţate schimbătoare. Roţile dinţate ale capului de sudat şi căruciorului sunt interschimbabile şi permit obţinerea a 26 de trepte diferite de reglare.

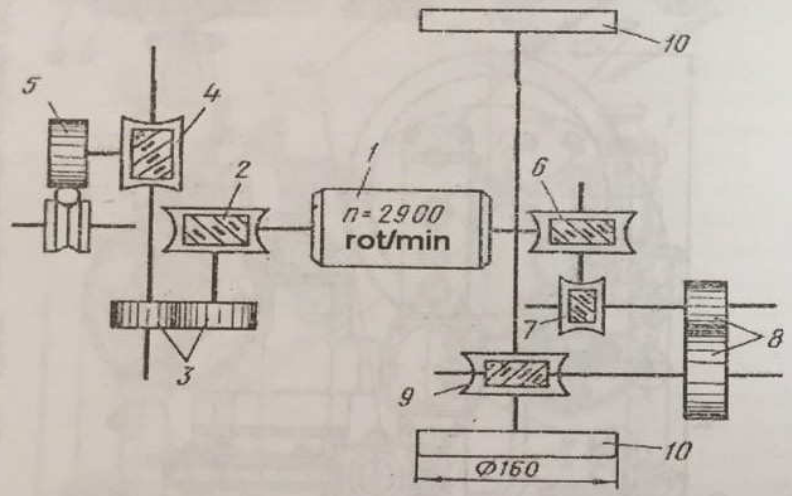


***Fig. 11.15.** Schema cinematică a tractorului de sudare TC – 17MY*

Schema de dirijare a tractorului asigură:

- ridicarea şi coborârea sârmei electrod la operaţiile auxiliare înainte şi după sudare;
- deplasarea tractorului cu circuitul decuplat pentru instalarea lui la începutul cusăturii;
- cuplarea de la distanţă a curentului de sudare şi amorsarea arcului la începutul sudării;
- alimentarea cu sârmă electrod a arcului şi deplasarea tractorului în procesul de sudare cu viteză stabilă;
- sudarea craterului la sfârşitul cusăturii şi deconectarea transformatorului de sudare.

11.9. Automate de sudare A – 874C şi A – 874 H

Automatul universal A – 874 (fig. 11.16) este confecţionat în două variante:

- automat pentru sudare sub strat de flux A – 874C;
- automat pentru încărcarea sub start de flux A – 874H.

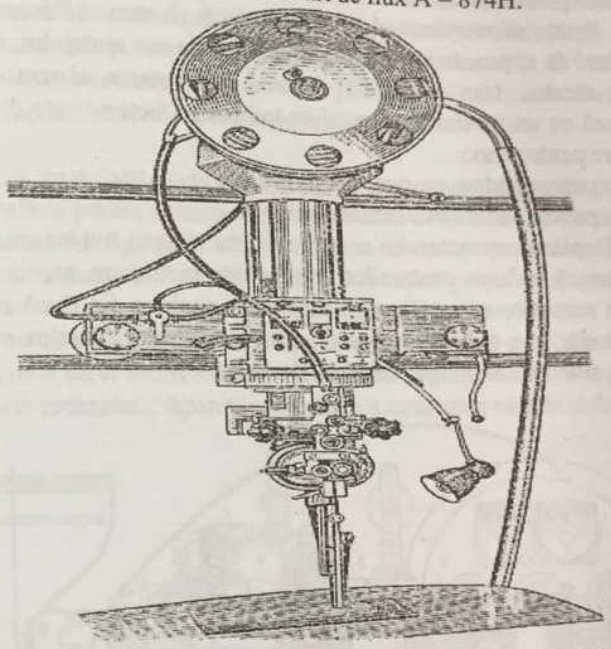


***Fig. 11.16.** Automatul universal de încărcat A – 874H*

Ele sunt destinate realizării lucrărilor de sudare şi încărcare sub strat de flux cu utilizarea deferitor electrozi cu curent până la 1500 A.

Schema electrică a automatului permite executarea sudării în două regimuri:

- cu viteza de avans a sîrmei electrod independentă de tensiunea arcului;
- cu viteza de avans a sârmei electrod dependentă de tensiunea arcului.

Automatul are mecanisme mecanizate de ridicat şi coborât capul de sudare şi de deplasare rapidă cu viteza de 1600 m/h. Ele sunt utilate cu buncăre şi mecanisme pentru alimentarea cu flux şi strângerea fluxului netopit după sudare. Automatul poate executa sudarea după topire, încărcarea cu sârmă laminată cu diametrul 6,5 mm, cu bandă turnată şi din prafuri de bronz, fontă şi oţel. Mecanismul de oscilaţii transversale permite realizarea încărcărilor late cu un singur electrod şi în limite largi reglarea

adâncimii de pătrundere. Este posibilă topirea (încărcarea) suprafeţelor late cu un cap multielectrod (pieptene – electrod). În completul instalaţiei sunt incluse automatul A – 874, dulapul de comandă, transformatorul de sudare TCD – 1000 – 4 (pentru automatul A – 874C) sau redresorul de sudare PC01000 (pentru automatul A – 874H).

Pentru sârme electrod cu diametrul 1,6...2 mm se foloseşte un ajutaj cu capătul de cupru, cu deplasarea axială faţă de axa ajutajului, care asigură contact electric bun cu sârma electrod. Îndreptarea sârmei electrod se realizează cu un mecanism special cu trei role. Tractorul este dotat cu două bunchere pentru flux:

- pentru sudare cu electrod vertical;
- pentru sudare cu electrod orizontal.

Deplasarea tractorului se poate realiza manual sau automatizat. Dacă se realizează sudarea cusăturilor cu muchiile prelucrate, atunci pe una din tijele de susţinere se instalează un palpator compus din două role, care în timpul sudării se rostogolesc pe marginile muchiilor pieselor şi îndreptată automat, tractorul în lungul cusăturii de sudat.

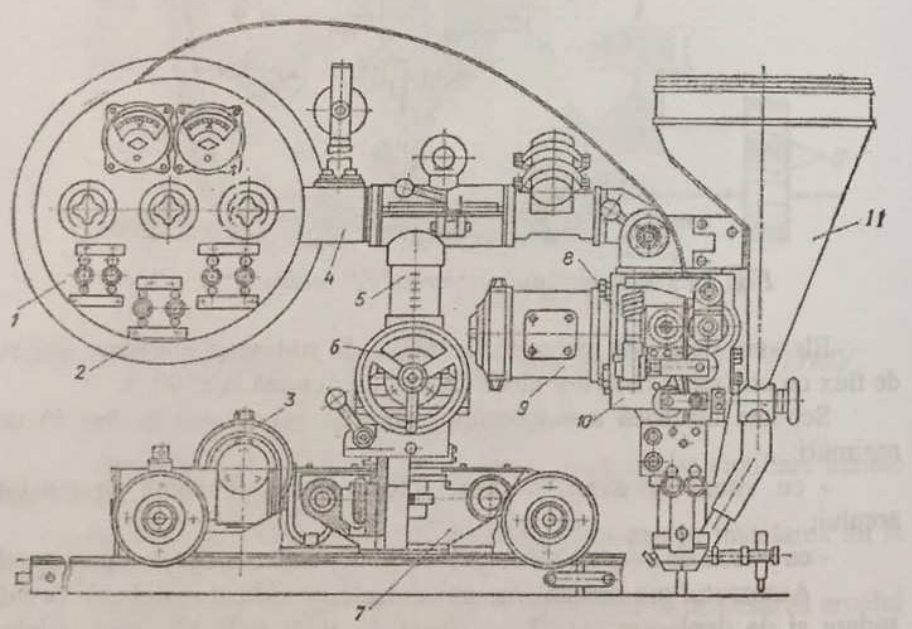


Fig. 11.17. *Schema constructivă a tractorului ADC – 1000 – 2 pentru sudarea automată a pieselor sub strat de flux*

Tractorul este dotat cu două panouri de dirijare:
- pentru sudarea cusăturilor longitudinale;

- pentru sudarea cusăturilor circulare. Tractorul ADC – 1000 – 2 (fig. 11.17) este compus din căruciorul *7* pe care este fixată coloana *5* cu mecanismul de ridicat *6*. Coloana poartă balanţa *4*. La un capăt al balanţei este instalat capul *10* cu mecanismul de avans *8* şi buncherul *11* pentru flux. La al doilea capăt al balanţei este fixată bobina cu sârmă electrod *2* şi aparatele panoului de comandă *1*. Construcţia ansamblului de rotaţie permite înclinarea automată a capului de sudat în jurul axei balanţei la 45° în ambele părţi, iar coloana verticală se poate roti la 180° în jurul axei sale. Deplasarea verticală a capului se realizează cu ajutorul transmisiei melc.

11.10. Instalaţii pentru sudarea semiautomată în gaz de protecţie

Instalaţia pentru sudarea semiautomată în mediu de bioxid de carbon este prezentată în figura 11.18. În calitate de utilaj de sudare în ea se foloseşte semiautomatul *7* cu tub flexibil. Din casetă printr-un furtun flexibil *8* sârma electrod se transmite în pistol manual *1*. Pistolul este dotat cu mânerul *9* cu care sudorul, manual trage sârma în lungul cusăturii. Ca sursă de curent poate servi transformatorul de sudare sau redresorul de sudare (pe desen nu este prezentat). Aparatura electrică a instalaţiei este în dulapul 6.

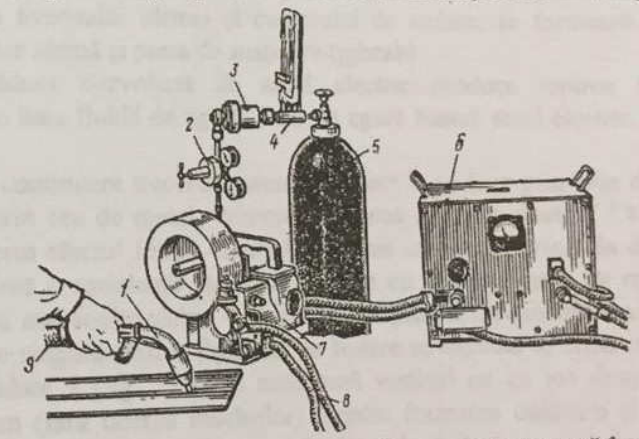


Fig. 11.18. *Instalaţie pentru sudarea semiautomată în gaz de protecţie (bioxid de carbon)*

Utilajele auxiliare ale instalaţiei sunt: butelia *5* cu bioxid de carbon, încălzitorul de gaz *4*, uscătoria de gaz *3* şi redresorul *2*. Transmiterea gazului de protecţie în zona arcului şi alimentarea cu curent de sudare a sârmei electrod se realizează printr-un furtun flexibil special sau printr-un furtun de cauciuc şi un cablu de sudare, aşezaţi lângă furtunul flexibil. În procesul de sudare arcul electric arde în gaz de protecţie, care împinge aerul din zona de sudare şi prin aceasta protejează baia de metal topit de influenţă

dăunătoare a azotului şi oxigenului din aer.

La sudarea cusăturilor circulare şi de asemenea diferitor construcţii, la instalaţii pentru sudare semiautomată pot fi utilizate aceleaşi utilaje, care se folosesc la sudarea automată.

Pentru sudarea semiautomată sub strat de flux se utilizează şi instalaţii speciale. Deosebirea lor constă în aceea, că în loc de aparatura pentru gaz se foloseşte aparatura pentru flux, care constă din buncher, fixat pe pistolul de sudat. Fluxul se transmite în zona arderii arcului, ca rezultat al turnării lui din buncher pe rostul componentelor de sudat. Unele instalaţii sunt utilate cu mecanisme pneumatice de alimentare cu flux. Fluxul rămas (netopit) se strânge manual.

În instalaţiile pentru sudarea semiautomată cu arc electric şi sârmă simplă sau cu sârmă din pulberi, aparatura pentru flux şi pentru gaze lipseşte, fiindcă în acest caz rolul de protejare al băii topite îl realizează sârma.

Capitolul 12
SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN BAIE DE ZGURĂ

Noţiuni generale. Metoda de sudare în baia de zgură este bazată pe eliminarea căldurii la trecerea curentului electric prin fluxul topit conducător de curent electric. Baia de zgură topeşte simultan metalul de bază şi metalul de adaos. Baia de metal topit este limitată lateral de către două patine glisante de cupru, răcite cu apă, care după solidificare formează cusătura. Temperatura băii de zgură topită este mai mare decât temperatura de topire a metalului care se sudează. Stratul de zgură topită protejează metalul topit de acţiunile dăunătoare ale mediului ambiant, reprezentând în acelaşi timp un mijloc pentru acţionarea metalurgică asupra metalului.

Sudarea în baie topită este un procedeu de înaltă productivitate, care permite sudarea pieselor de grosimi practic, nelimitate (mai mari de 30 mm) dintr-o singură trecere.

Sudarea electrică în baia de zgură este unicul procedeu de sudare prin topire fără arc electric. Pentru începerea procesului de lucru la partea inferioară a rostului se dispune o piesă sub forma unui jgheab. Iniţial, la conectarea avansului sârmei şi curentului de sudare, se formează un arc electric între sârmă şi piesa de susţinere (jgheab).

Căldura dezvoltată de arcul electric produce topirea fluxului realizând o baie fluidă de zgură. Baia de zgură îneacă arcul electric, care se stinge.

În continuare trecerea curentului electric se face prin baia de zgură topită şi prin cea de metal. Procesul continuă fără arc electric. Căldura se dezvoltă prin efectul Joule – Lenz la trecerea curentului prin baia de zgură, care prezintă o rezistenţă electrică. Piesele cu grosimi mari, de regulă, se sudează cu mai multe sârme – electrozi. La piesele cu grosimi mai mici se foloseşte o singură sârmă. Procesul de sudare se execută în următorul mod. Piesele sudate *1* (fig. 12.1) se instalează vertical cu un joc dintre ele de 20...40 mm (fără tăierea muchiilor). Pentru formarea cusăturii şi evitarea scurgerii metalului şi zgurii topite din baia de sudură, pe ambele părţi ale jocului (dintre piese) se instalează patine glisante *3* din cupru, care se răcesc cu apă circulantă. În partea inferioară a plăcilor se fixează jgheabul 9 (fig. 12.1, a). În partea superioară a plăcilor se fixează plăcile de ieşire *8*, care au drept scop prelungirea băii metalice (şi cu zgură) în afara pieselor îmbinate. Pe ambele părţi ale jocului dintre piese se instalează plăcile glisante din cupru *3* (fig.12.1, b). În cavitatea (jocul) dintre patine şi piesele care urmează să fie sudate se introduce de către rolele *7*, sârma electrod *2*. Pe jgheabul inferior (placa suport) *9* se toarnă flux (granule). Se cuplează avansul sârmei *2* şi se amorsează arcul electric. După topirea fluxului şi formarea băii de zgură *4*, fluxul topit stinge arcul electric, iar procesul de

sudare cu arc electric trece în proces electric în baie de zgură. Curentul electric trece prin baia de zgură, încălzind-o până la temperatura de 2500° C. Cu căldura băii de zgură se topeşte sârma electrică, se menţine în stare topită fluxul (zgura) şi se topesc muchiile pieselor. Datorită evacuării căldurii de către piesele sudate şi plăcile glisante baia de sudură *4* se solidifică şi se formează cusătura sudată *5*. Sârma electrod *2* şi plăcile glisante formează partea mobilă a instalaţiei şi în măsura umplerii jocului dintre piese cu metal se deplasează în sus cu viteza sudării. Prin furtunul *6* se transmite apă pentru răcirea plăcilor glisante.

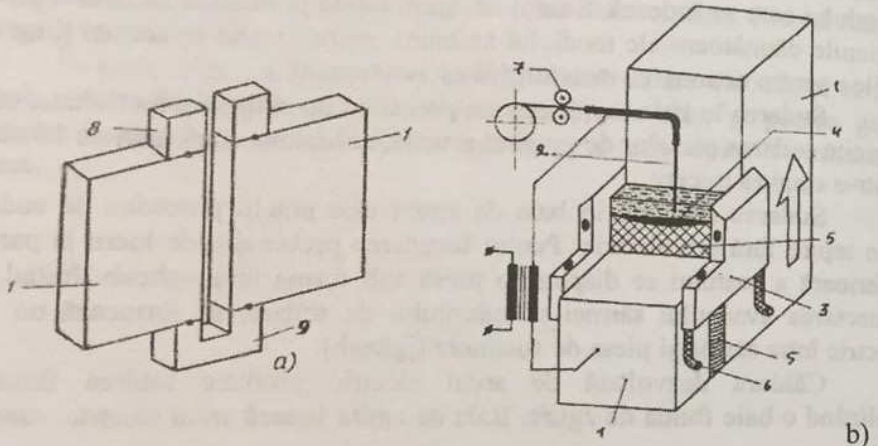


Fig. 12.1. *Scheme de principiu a procedeului de sudare în baia de zgură:*
a – pregătirea (asamblarea) pieselor care urmează să fie sudate;
b – schema procesului de sudare

Procesul de sudare în baie de zgură se caracterizează prin următoarele particularităţi:

- lipsesc descărcările electrice, ce exclude stropirea cu metal topit şi zgură la sudare cu curenţi de densitate avansată;
- este simplă pregătirea capetelor pieselor de sudat şi nu necesită şanfrenarea muchiilor, iar acesta micşorează consumul de metal şi simplifică asamblarea;
- pot fi sudate dintr-o trecere piese de orişice grosime;
- baia de sudură timp îndelungat se află în stare lichidă, de aceea gazele, care se formează reuşesc să iasă la suprafaţa ei şi nu formează porozităţi în cusătură;
- se consumă flux puţin, iar căldura se utilizează mai mult la topirea metalului ce conduce la economisirea curentului electric;
- metalul se încălzeşte uniform pe toată grosimea şi ca consecinţă se evită deformările unghiulare ale îmbinărilor sudate;

- productivitatea sudării este de 5...15 ori (în dependenţă de grosimea componentelor sudate) mai mare, decât sudarea cu multe treceri sub strat de flux.

Zgura topită pătrunde între plăcile glisante şi piesa, se solidifică repede împiedicând lipirea acestora. Deplasarea ascendentă a plăcilor glisante se realizează mecanic cu motoare de curent continuu şi reductoare. Căldura dezvoltată în baia de zgură se repartizează procentual aproximativ ca în figura 12.2.

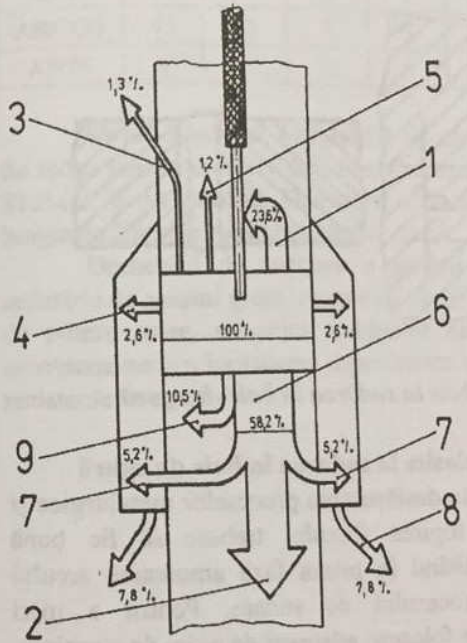


Fig. 12.2. *Repartizarea căldurii la sudarea în baie de zgură:*
1 – căldura folosită pentru topirea electrozilor;
2 – transmisia căldurii în masa metalului de bază; 3 – căldura folosită pentru preîncălzirea muchiilor prin radiaţia băii de zgură în plăcile de formare;
4 – pierdere de căldură în patinele de cupru; 5 – căldura pierdută prin radiaţii;
6 – căldura folosită pentru topirea metalului de bază;
7 – căldura pierdută de baia metalică în plăcile de formare;
8 –cantitatea totală de căldură pierdută în plăcile de formare;
9 – căldura pentru supraîncălzirea băii topite

12.1. Formarea cusăturii la sudarea în băi de zgură

Amestecul metalului de bază (MB) şi cel da adaos (MA) este destul de uniform. Compoziţia chimică a cordonului de sudură este similară cu cea a MB şi a MA. Există posibilitatea de evacuare a gazelor datorită metalului topit situat deasupra cristalelor şi zgurii fluide.

Coeficientul de formă al cusăturii definit prin raportul dintre lăţimea b şi adâncimea băii metalice *h*, (fig. 12.3) poate lua valori între 0,8 şi 10, valorile optime fiind 1,5 – 4. Lăţimea *b* se determină cu o relaţie experimentală de forma: $b = rostul + K \cdot S$

Valorile pentru *K* au fost determinate experimental, ($K = 0{,}0281$). La

coeficienţii de formă mică, respectiv pentru o baie adâncă pot apare fisuri de cristalizare. Prin analize metalografice se scoate în evidenţă faptul că în axa cusăturii apar mai frecvent defecte. Aceste defecte sunt ca urmare a faptului că impurităţile din baia de sudură sunt împinse spre zona centrală, care se răceşte mai greu. În zona primară cu cristale mari nu sunt pori, incluziuni sau fisuri. Pentru mărunţirea cristalelor se folosesc procedee de vibraţii ultrasonore, obţinându-se, cristale fine.

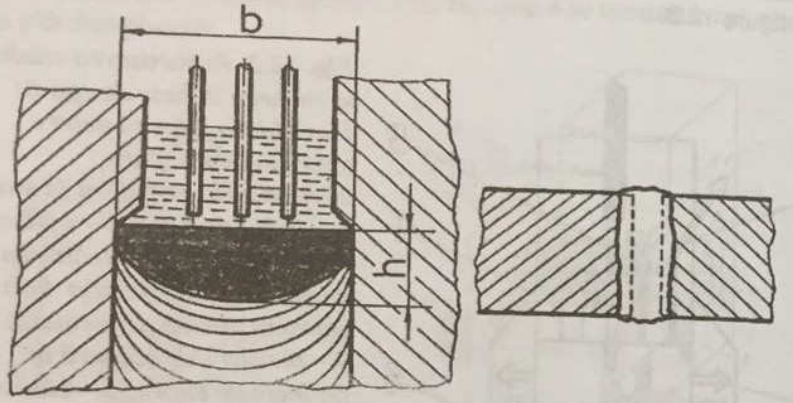


Fig. 12.3. Forma băii la sudarea în baie de zgură

12.2. Materiale de adaos folosite la sudarea în baie de zgură

Fluxul are un rol important în desfăşurarea proceselor metalurgice şi de topire. Zgura obţinută prin topirea fluxului trebuie să fie bună conducătoare de electricitate, facilitând în prima fază amorsarea arcului electric, iar apoi stabilizarea procesului de sudare. Pentru a mări conductibilitatea electrică a zgurii se folosesc adaosuri de oxizi de aluminiu, oxizi de titan, fluorură de calciu.

Cantitatea de căldură este mai mare cu aceste adaosuri, iar procesul de topire este mai intens.

Viscozitatea băii de zgură are un rol important, deoarece la viscozitatea mare este îngreunată ieşirea gazelor din baie, iar la viscozitate prea mică apare pericolul scurgerii băii pe lângă plăcile glisante şi metal. De aceea în baia de zgură se introduce (în flux) fluorură de calciu şi bioxid de siliciu, stabilizându-se astfel un grad bun de vâscozitate al zgurii. În tabelul 12.1 sunt prezentate unele fluxuri pentru sudare în baia de zgură.

***Tabelul 12.1.** Compoziţiile chimice ale fluxurilor la sudarea în baie de zgură*

Marca flux	*Compoziţia chimică, %*								
	SiO_2	MnO	CaF_2	MgO	CaO	Al_2O_3	$K_2O + Na_2O$	FeO	TiO_2
FTZ	47	25	5	17	23	23	0,6	21,6	-
AN8	35	23	16	6	5	13	-	1	-
RFG	20	8	22	1	14	21	1,5	1	-
ARCOS	45	35	3	5	7	3	-	2	-
AN25	8	-	35	3	14	-	-	-	38

Sârma electrod. Conţinutul de carbon al sârmei electrod trebuie să fie redus pentru evitarea fisurilor. Frecvent se utilizează sârmele de mărcile S12Mn2 şi S12Mn2Si. Diametrul sârmei trebuie să fie 3,0...3,25 mm, iar lungimea liberă a capătului sârmei de 60...80 mm.

Domeniul de utilizare a sudării electrice în baie de zgură este industria de maşini grele: cazane cu aburi de presiune mare, carcasa preselor de putere mare, arborilor turbinelor hidraulice ş.a. Ea se utilizează de asemenea pentru încărcarea suprafeţelor utile ale pieselor cu metale şi aliaje rezistente la uzură.

Capitolul 13
SUDAREA CU SÎRMĂ TUBULARĂ (ST)

Procedeul de sudare ST se întâlneşte în două variante: 1 – sudarea cu sârmă tubulară cu autoprotecţie (protecţie interioară); 2 – sudarea cu sârmă tubulară cu protecţie de gaz (protecţie suplimentară). Principiul procedeului de sudare cu sârmă tubulară este prezentat în figura 13.1.

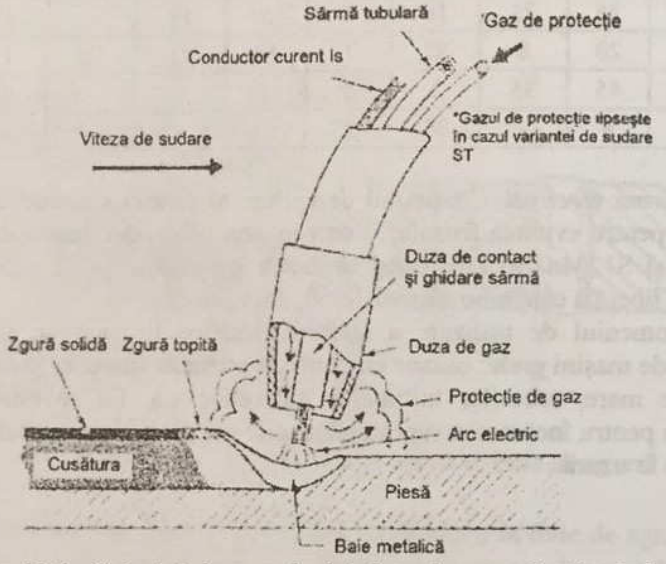


Fig. 13.1. Principiul procedeului de sudare cu sîrmă tubulară

Arcul electric arde între sârma electrod şi piesă. Sârma electrod la rândul ei este formată dintr-o teacă (ţeavă) metalică în interiorul căreia se introduce un miez pulverulent care conţine elemente oxidante, gazifiante, zgurifiante, de aliere, etc, asemeni cu substanţele din învelişul electrozilor utilizaţi la sudare manuală. Din acest punct de vedere se poate spune, că sudarea cu sârmă tubulară este o alternativă la sudarea manuală cu electrozi înveliţi putând înlocui în foarte multe aplicaţii acest procedeu, cu rezultate similare sau superioare, dar cu productivitate ridicată datorită posibilităţilor de mecanizare, respectiv a utilizării unor densităţi mari de curent 250...300 A/mm^2 comparativ cu 12...18 A/mm^2 la sudarea manuală. Sârma tubulară poate fi potrivită astfel „ca un electrod învelit cu învelişul în interior" ceea ce permite realizarea unui electrod continuu sub formă de sârmă, care asigură pe de o parte realizarea contactului electric alunecător, iar pe altă parte posibilitatea bobinării sârmei electrod fără pericolul fisurării şi desprinderii învelişului de pe electrod. Acest lucru permite antrenarea mecanizată a sârmei electrod în coloana arcului prin intermediul unui sistem

de avans cu motoreductor şi role de antrenare ceea ce creează premizele implementării unor procese de sudare semimecanizate sau mecanizate.

Topirea sârmei electrod şi a piesei determină formarea băii metalice. Materialul de adaos pentru realizarea cusăturii se obţine în general din topirea tecii metalice, dar şi prin introducerea de pulberi metalice în miez sau prin introducerea de fieroaliaje pentru alierea băii metalice. Protecţia arcului electric, a picăturii de metal şi a băii, se realizează cu ajutorul gazelor şi a zgurii topite rezultate din arderea miezului pulverulent, în cazul sârmelor tubulare cu autoprotecţie, respectiv şi prin introducerea unui gaz de protecţie suplimentar, bioxid de carbon sau amestec de gaze argon + CO_2, adus din butelie în coloana arcului prin intermediul unui furtun de gaz respectiv a unei duze de gaz. Aducerea curentului electric la sârmă şi contactul electric alunecător se realizează prin intermediul unei duze de contact din cupru. Prin deplasarea capului de sudare cu viteza V_s are loc solidificarea băii metalice şi a zgurii topite rezultând cusătura sudată acoperită cu un strat subţire de zgură solidificată, care poate acoperi total sau parţial cusătura.

13.1. Avantajele şi dezavantajele sudării cu sârmă tubulară

Avantajele sudării cu sârmă tubulară:

- Creşterea productivităţii la sudare comparativ cu sudare MAG cu sârmă plină ca efect al densităţii de curent superioare, 250...300 A/mm^2, faţă de 150 A/mm^2. aceasta se concretizează prin creşterea ratei depunerii cu 30...50% (şi în unele cazuri chiar mai mult), creşterea pătrunderii la sudare, respectiv creşterea vitezei de sudare. Creşterea productivităţii la sudare se manifestă în special la sudarea în poziţii dificile (verticală) ca efect al posibilităţii de sudare folosind valori mari ale curentului şi al transferului prin pulverizare în cazul sudării cu sârme tubulare rutilice.
- Calitate superioară a îmbinării sudate cu reducerea pericolului de formare a porilor sau apariţie a defectelor de tipul lipsei de topire sau a lipsei de pătrundere.
- Caracteristici mecanice superioare ale îmbinării sudate, rafinare superioară a băii metalice.
- Reducerea conţinutului de hidrogen difuzibil din îmbinarea sudată şi prin urmare reducerea pericolului de fisurare la rece sau a pericolului de formare a porilor.
- Geometrie superioară a cusăturii, cu pătrundere sigură.
- Stabilitate mai bună a arcului electric (vezi substanţele ionizatoare din miez).
- Reducerea stropilor, desprinderea mai uşoară a stropilor şi prin urmare reducerea timpului de curăţire a piesei, respectiv al capului de sudare.

- Posibilitatea alierii metalului depus prin miez.
- Estetica mai bună a cusăturii sudate cu solzi fini.
- Posibilitatea sudării în spaţii deschise, pe şantier, asemănător sudării manuale cu electrozi înveliţi.
- Îmbunătăţirea calităţii îmbinărilor sudate executate, acoperite (grunduite) sau cu suprafeţe nepregătite (vopsele, rugină, uleiuri).

Dezavantajele sudării cu sârmă tubulară:

- Preţul de cost mai mare al sârmei tubulare comparativ cu sârma plină (de 2-3 ori). Acest dezavantaj este compensat prin reducerea costurilor totale ale realizării îmbinării sudate – timp, manoperă, energie.
- Necesitatea unei operaţii suplimentare de înlăturare a zgurii de pe suprafaţa depunerilor, în special la suprafaţa multistrat.
- Posibilitatea apariţiei defectelor de tipul incluziunilor de zgură în cusătură.
- Emisie mai puternică de fum şi gaze nocive, ceia ce necesită ventilaţie forţată la locul de muncă, dificultăţi în conducerea pistoletului la sudarea semimecanizată datorită fumului.

Regimurile procedeului:

- curent de sudare I_s = 100...600 A;
- tensiunea arcului U_a = 20...35 V;
- viteza de sudare V_s = 20...150 cm/min;
- diametrul sîrmei electrod d_s = 1,0...3,2 mm;
- densitatea curentului j = 250...300 A/mm^2.

13.2. Tipuri de sârme tubulare

În funcţie de tipul constructiv, sârmele tubulare pot fi (fig. 13.2):

- cu profil de închidere simplu sudat (fig. 13.2,a);
- cu profil de închidere simplu, cap la cap (fig. 13.2,b);
- cu profil de închidere simplu, cu marginile suprapuse (fig. 13.2,c);
- cu profil de închidere simplu, cu îndoirea unei margini (fig. 13.2,d);
- cu profil de închidere simplu, cu îndoirea ambelor margini (fig. 13.2,e);
- cu profil de închidere dublu (fig. 13.2,f).

Conform caracteristicilor zgurifiante, sârmele tubulare se clasifică în:

- sârme tubulare cu componente zgurifiante bazice;
- sârme tubulare cu componente zgurifiante rutilice;
- sârme tubulare cu componente zgurifiante, care conţin numai pulberi metalice.

Sârmele tubulare cu zgură bazică se remarcă prin caracteristicile mecanice înalte ale sudării, prin tendinţa redusă de formare a porilor şi lipsei de topire, respectiv printr-un conţinut scăzut de hidrogen. Nivelul înalt al

tenacităţii metalului depus se menţine chiar şi în urma unor tratamente termice. Ele au însă o comportare mai dificilă la sudare şi produc o cantitate mare de stropi. O îmbunătăţire a acestei situaţii poate fi obţinută prin sudarea în impulsuri.

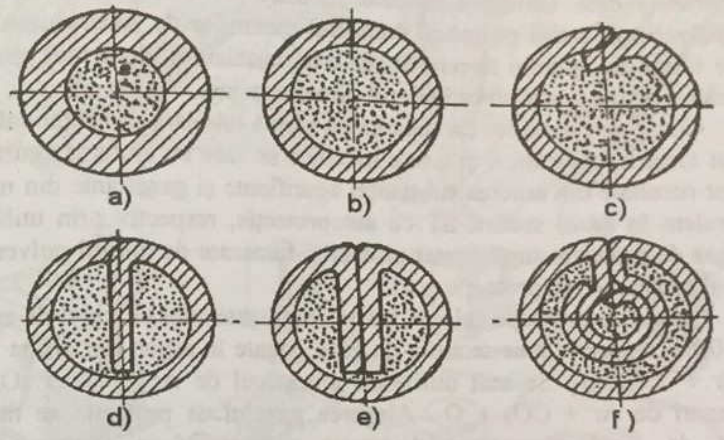


***Fig. 13.2.** Tipuri de profiluri de sârmă tubulară*

Sârmele tubulare cu zgură rutilică produc o zgură cu solidificare rapidă, fapt ce permite utilizarea lor pentru sudarea în poziţie. Ele se remarcă printr-o comportare bună la sudare, dar tenacitatea metalului depus are valori scăzute. Sârmele tubulare cu pulberi metalice şi fără adaosuri zgurifiante reprezintă o dezvoltare recentă. Cu toate că nu produc zgură, ele păstrează totuşi caracteristicile favorabile ale sârmelor tubulare ceea ce priveşte calitatea sau aspectul sudării. Având o tendinţă redusă de formare a stropilor ele pot fi utilizate la sudarea robotizată. Lipsa zgurii înlătură necesitatea curăţării intermediare la sudarea multistrat. Amorsarea arcului electric este, ca efect al pulberii metalice, foarte uşoară.

Cel mai frecvent, sudarea cu sârmă tubulară se realizează în mediu de gaze protectoare (MIG - MAG). Este posibilă, de asemenea, şi sudarea cu autoprotecţie, în care miezul sârmei tubulare conţine materiale necesare generării mediului de protecţie. Sudarea cu sârmă tubulară poate fi executată sub strat de flux sau în baie de zgură.

Avantajul principal pe care îl oferă sudarea cu sârmă tubulară este rata mare a depunerii metalului în cusătură.

Mai frecvent se utilizează sârme cu diametrul 1,0...2,4 mm. Transferul materialului prin arcul electric se face în funcţie de valoarea curentului de sudare prin scurtcircuit, prin arc intermediar sau prin pulverizare. Pentru sudare cu sârmă tubulară sunt posibile, în general,

recomandările tehnologice specifice sudării cu sârmă plină. Datorită puterii superioare de topire se pot obţine suduri cu valori ale parametrilor de sudare mai mari. Sudarea cu sârmă tubulară este utilizată în diferite ramuri industriale, mai ales în cazurile în care se impun condiţii de calitate înalte, îmbinărilor sudate. Utilizarea sârmelor tubulare permite operarea cu un arc prin pulverizare stabil pe întreg domeniul curenţilor de sudare uzuali. La aceste sârme nu apare o trecere de material instalată în domeniul puterilor mari sau o rotaţie a arcului ca în cazul sârmelor pline.

Gazul de protecţie. La sudarea cu sârmă tubulară protecţia coloanei arcului electric, a picăturii şi a băii metalice se face cu ajutorul zgurii şi a gazelor rezultate din arderea substanţei zgurifiante şi gazefiante din miezul pulverulent în cazul sudării ST cu autoprotecţie, respectiv prin utilizarea unui gaz de protecţie suplimentar protecţiei furnizate de miezul pulverulent în cazul sudării ST cu protecţie gaz.

Gazele de protecţie cel mai frecvent utilizate sunt bioxidul de carbon CO_2 100%, respectiv amestecurile de gaze bogate în argon din grupa M21, 75%Ar + 25%CO_2. Se mai utilizează amestecul de Ar + 1...5%O_2 sau amestecuri de Ar + CO_2 + O_2. Alegerea gazului de protecţie se face în funcţie de tipul sârmei şi destinaţia acesteia (vezi recomandările producătorului), respectiv în funcţie de modul de transfer utilizat (curentul de sudare). În cazul sudării cu transfer prin pulverizare sau în curent pulsat se utilizează întotdeauna amestecuri de gaze bogate în argon cu mai mult de 80%Ar în amestec. Excepţie face cazul sudării cu sârme tubulare cu miez rutilic când se poate obţine transfer prin pulverizare chiar şi la utilizarea de CO_2 100% sau de amestecuri bogate în CO_2. Utilizarea bioxidului de carbon reduce preţul de cost al îmbinării, respectiv asigură pătrunderea cea mai mare şi mai sigură. Debitul gazului de protecţie în acest caz este mai redus decât la sudarea MAG cu sârmă plină, luând valori între 8...20 l/min.

13.3. Semiautomate de sudare cu sârmă tubulară

Semiautomatele de sudare cu sârmă tubulară umplută cu praf se utilizează pe larg la realizarea diferitor tipuri de îmbinări. Sudarea se realizează cu sârmă electrod la diferite semiautomate cu convertoare de sudare da tipul ПС -300М, ПСГ – 500 – 1 sau transformatoare TDC – 500 ş. a.

Semiautomatele utilizate la sudarea semiautomată au construcţie analogică, însă aranjarea utilajelor poate fi diferită (fig. 13.3). Ele pot fi staţionare şi transportabile.

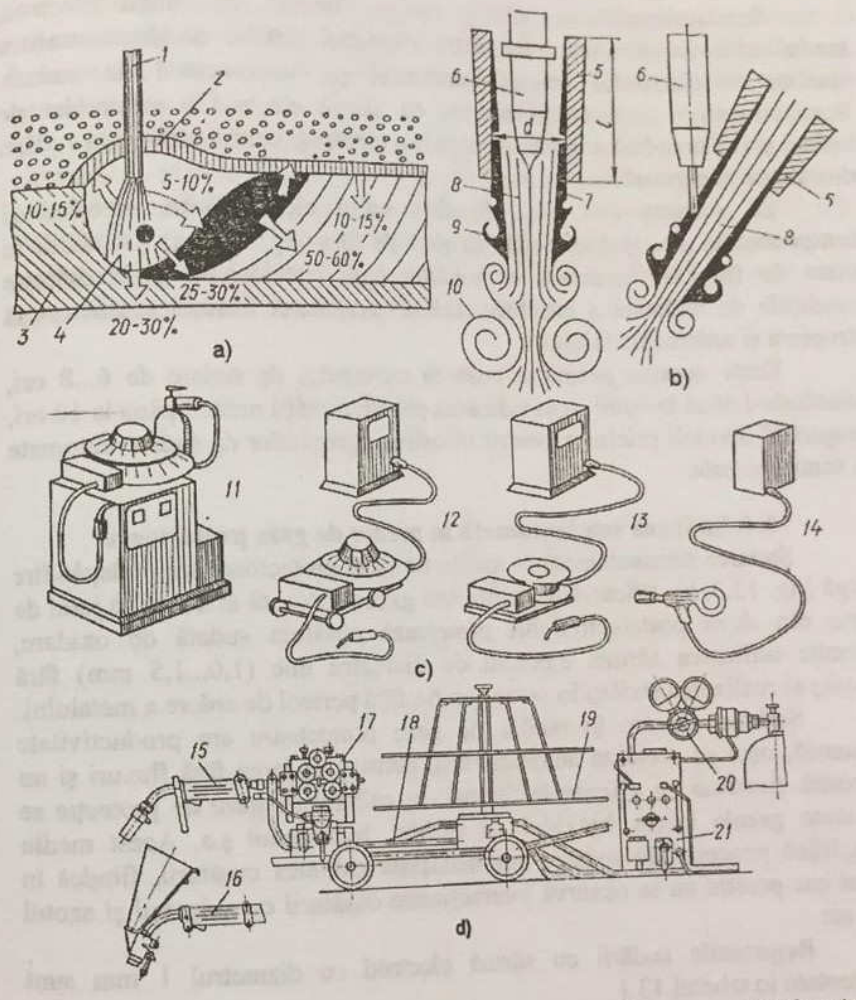


Fig. 13.3. *Scheme ale semiautomatelor pentru sudare: a – arcul electric sub strat de flux; b – jetul de gaze la sudare în mediu de gaze protectoare; c – tipuri de semiautomate; d – semiautomat cu cablu flexibil A – 1035M: 1 – electrod; 2 – strat de flux; 3 – metal de bază; 4 – coloana arcului; 5 – bec; 6 – duză pentru alimentarea cu sârmă electrod; 7 – torent laminar de gaz; 8 – torent turbulent de gaz; 9 – zona turbionării; 10 – amestec de gaz cu arc; 11 – semiautomat staţionar; 12 – semiautomat transportabil din două blocuri; 13 – semiautomat uşor transportabil; 14 – semiautomat cu mosorel; 15- portelectrod uşor pentru sudare cu flacără deschisă; 16 – portelectrod greu pentru sudarea cu sîrmă electrod tubulară în mediu de gaze de protecţie sau sub strat de flux; 17 – mecanism de alimentare cu sârmă electrod; 18 – cărucior; 19 –suport rotativ pentru sârmă electrod; 20 – aparatura pentru gaze; 21 – panou de comandă*

Semiautomatul de sudare conţine bobină cu sârmă electrod, mecanismul de alimentare cu sârmă, furtunul flexibil de direcţionare a sârmei, portelectrodul manual, arzătorul şi convertizorul de sudare. Semiautomatele asigură alimentarea cu sârmă electrod a procesului de sudare şi reglarea lină a vitezei de avans a sârmei şi permit realizarea sudării de calitate superioară.

La sudarea sub strat de flux arcul electric între electrod şi componentele de sudat arde sub un strat de flux (fig. 13.3, a). De aceea în masa de flux se formează o cavitate, care considerabil îmbunătăţeşte condiţiile de realizare a cusăturii sudate, avansează bilanţul termic, evită stropirea şi arderea metalului.

Toate acestea permit avansarea curentului de sudare de 6...8 ori, aducându-l până la 4000 A şi ridicarea productivităţii muncii până la 10 ori, asigurând învoieli prielnice pentru folosirea agregatelor de sudare automate şi semiautomate.

13.4. Sudarea semiautomată în mediu de gaze protectoare

Sudarea semiautomată în mediu de gaze protectoare are o răspândire largă (fig. 13.3, b). Eficacitatea protejării gazoase constă în aceia, că jetul de gaze din duza portelectrodului protejează cusătura sudată de oxidare, permite utilizarea sârmei electrod de diametru mic (1,0...1,5 mm) fără înveliş şi realizarea sudării în orice poziţie fără pericol de ardere a metalului.

Sudarea cu arc în mediu de gaze protectoare are productivitate avansată, uşor se pretează automatizării, permite sudarea fără fluxuri şi nu necesită electrozi cu diferite înfăşurări. În calitate de gaze de protecţie se folosesc gazele inerte, bioxidul de carbon, hidrogenul ş.a. Acest mediu simplifică procesul de sudare, îmbunătăţeşte calitatea cusăturii, fiindcă în acest caz practic nu se observă interacţiunea cusăturii cu oxigenul şi azotul din aer.

Regimurile sudării cu sârmă electrod cu diametrul 1 mm sunt prezentate în tabelul 13.1.

Tabelul 13.1. *Regimurile orientative ale sudării în medii de gaze protectoare*

Curentul de sudare, A	*Tensiunea arcului, V*	*Viteza de sudare, m/h*	*Lungimea liberă a electrodului, mm*	*Consum de gaz (CO_2), l/min*
100...110	18...19	30...40	10...11	6...7
125...150	19...21	30...40	10...11	6...8
125...150	21...22	30...40	10...13	6...8
150...175	21...23	30...40	10...13	6...8

Pentru sudarea cu arc a armăturii termic durificată este necesar de utilizat metode de sudare cu trecerea minimală a căldurii în metalul de bază. În acest caz este raţional de utilizat sudarea sub strat de flux şi în mediu de gaze de protecţie.

La sudarea manuală şi semiautomată se recomandă de utilizat electrozi de tipul Э55 – Ф, care asigură echirezistenţa metalului cusăturii cu metalul de bază durificat termic sau sârme electrod de tipul Cb – 10Г2, Cb – 10ГСМТ ş.a. pentru sudarea sub strat de flux. Regimurile tehnologice de sudare trebuie să asigure dimensiuni minimale ale zonei de reducere a rezistenţei metalului şi scăderii durităţii lui.

Capitolul 14
SUDAREA ŞI TĂIEREA SUBACVATICĂ CU ARC ELECTRIC

Sudarea subacvatică cu arc electric este bazată pe posibilitatea arcului să ardă stabil într-o pungă de gaze, la răcirea intensivă de către apa înconjurătoare (fig. 14.1).

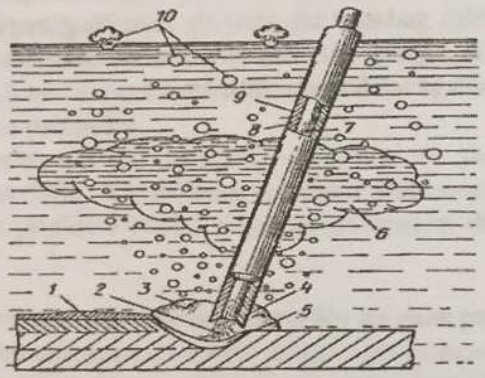


Fig. 14.1. *Schema principală de ardere a arcului sub apă: 1 – zgură; 2 – arc; 3 – pungă cu gaze; 4 – cozoroc; 5 – baia de sudură; 6 – nor de gaze; 7 – bară metalică; 8 – înveliş; 9 – acoperire impermeabilă; 10 – bule de aer*

Punga de aer se formează datorită evaporării apei, aburilor, gazelor metalului topit şi învelişului electrodului. În jurul arcului electric se elimină o cantitate mare de gaze, care conduc la mărirea presiunii în punga de gaze şi ieşirea unei părţi de gaze în formă de bule la suprafaţa apei. Apa se descompune în jurul arcului în hidrogen liber şi oxigen. Oxigenul acţionează metalul, oxidându-l. Produsele de ardere a metalului şi învelişul electrodului, care conţine mai mulţi oxizi de fier, tulbură apa şi înrăutăţeşte posibilitatea de urmărire a procesului de sudură.

Sudarea subacvatică se realizează cu curent continuu sau alternativ. În curent continuu arcul arde mai stabil decât în curent alternativ. Cu mărirea adâncimii şi presiunii, stabilitatea arcului nu erodează, creşte numai tensiunea şi se măreşte curentul. Sudarea subacvatică se realizează atât în apă sărată cât şi în apă dulce. Ca sursă de energie pot fi utilizate agregate de sudare obişnuite, convertizoare de sudură, generatoare, transformatoare cu tensiunea mersului în gol 70...100 V.

Pentru sudarea subacvatică se folosesc electrozi cu diametrele de 4...6 mm (fig. 14.2) din sârmă de sudură cu învelişuri speciale, care asigură arderea stabilă a arcului sub apă.

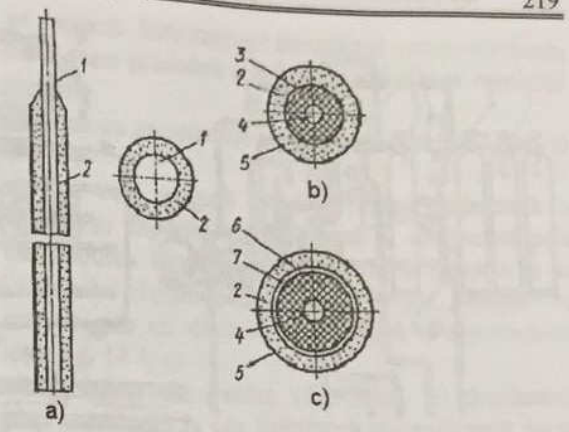


Fig. 14.2. *Electrozi pentru sudare şi tăiere subacvatică: a – electrod fuzibil pentru sudare; b – electrod tubular pentru tăiere; c – electrod din carborund pentru tăiere: 1 – bară metalică; 2 – înveliş; 3 – ţeavă de oţel; 4 – canal pentru oxigen; 5 – acoperire impermeabilă; 6 – bară din carborund; 7 – coajă metalică*

Pentru sudarea subacvatică se folosesc portelectrozi speciali, cu electroizolare bună pe toată suprafaţa. Schimbarea electrodului se realizează numai după deconectarea curentului de sudare. Prin sudare subacvatică se realizează îmbinările suprapuse, unghiulare, în „T" şi mai rar peste cap. Arcul electric arde destul de stabil. Sudorul deplasează arcul fără pendularea transversală a electrodului şi menţine unghiul de înclinare a electrodului constant.

În practică cele mai utilizate lucrări de sudare subacvatică cu arc electric sunt: sudarea crăpăturilor în carcase, încărcarea suprafeţelor, sudarea ecliselor, ţevilor, nervurilor de rigidizare, instalaţiilor subacvatice ş. a.

Sudarea şi tăierea subacvatică se realizează cu semiautomate de tipul ППСР – 300 – 2, "*Ненмун*" (fig. 14.3), care pot suda oţel cu grosimea până la 4 mm şi mai mare, taie table cu grosimea până la 25 mm la adâncime până la 50 m.

Ca protecţie se utilizează bioxidul de carbon. Semiautomatul este calculat la puterea nominală a curentului 300 A. Viteza de avans a sârmei-electrod cu diametrul 1,2 sau 1,6 mm se reglează în limitele 6,6...21,6 cm/s. Dintr-o încărcătură de sârmă cu masa de 4...5 kg, sudorul poate suda neîntrerupt 2,0...2,5 ore. La sudarea semiautomată arcul arde stabil. Metalul cusăturii are conţinut scăzut de hidrogen şi de incluziuni nemetalice. Rezistenţa înaltă şi plasticitatea se asigură datorită structurii cu granule mărunte, lipsa defectelor şi incluziunilor.

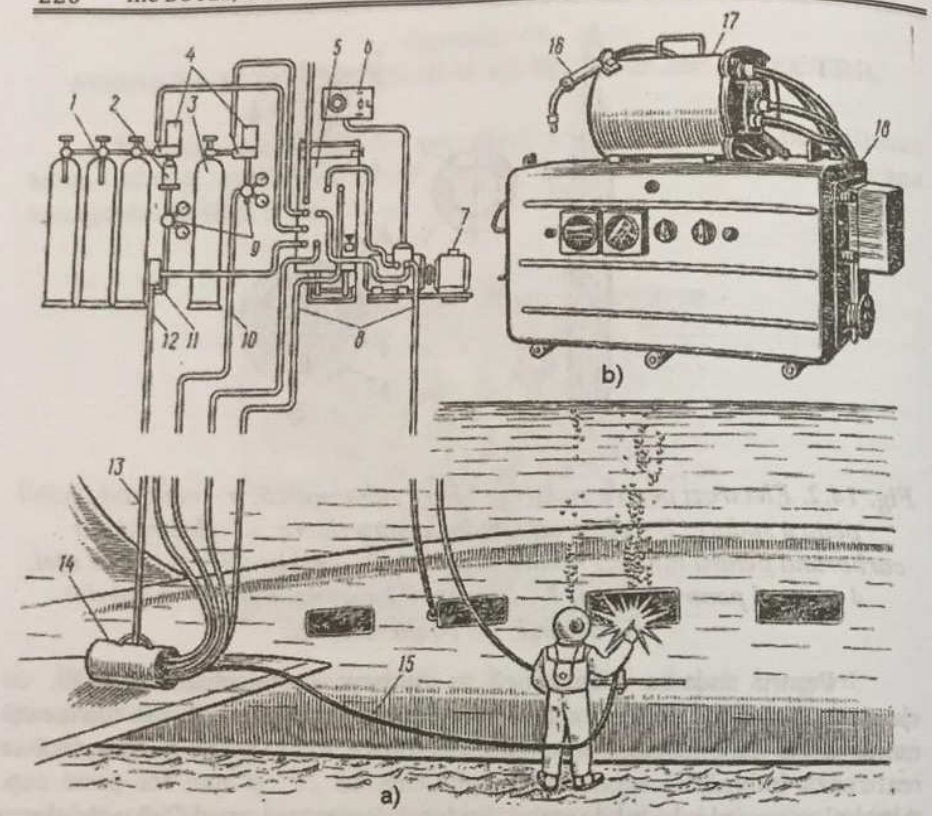


Fig. 14.3. Semiautomatul de tipul ПШСР – 300 – 2 pentru sudare şi tăiere subacvatică: a – schema semiautomatului; b – vederea exterioară a semiautomatului: 1 – butelie cu oxigen; 2 – uscătorie pentru oxigen; 3 – butelie cu bioxid de carbon; 4 – încălzitoare de gaze; 5 – panou de dirijare; 6 – panou de dirijare la distanţă; 7 – agregat de sudare; 8 – cabluri de sudare; 9 – reductoare; 10 – furtun pentru transmiterea CO_2; 11 – supapă electromagnetică de oxigen; 12 – furtun pentru transmiterea oxigenului; 13 – odgon pentru suspendarea buncărului; 14 – buncher; 15 – furtun - cablu special; 16 – cap de sudare; 17 – mecanism pentru alimentarea cu sârmă; 18 – dulap de dirijare

14.1. Tăierea subacvatică a metalelor cu arc electric

Cele mai răspândite metode de tăiere subacvatică a metalelor sunt: tăierea cu arc electric, tăierea cu arc electric în mediu de oxigen, tăierea cu plasmă. Tăierea subacvatică cu arc electric se deosebeşte de sudarea subacvatică prin valorile avansate ale curentului electric şi procedeele lucrărilor executate. Tăierea subacvatică cu arc electric se poate realiza la

aceleaşi utilaje, la care se sudează. Este raţional de utilizat curent continuu cu polaritate directă, fiindcă acest procedeu conduce la avansarea cantităţii de căldură în cavitatea tăieturii.

Electrozii pentru tăierea cu arc electric au diametrul de 5...7 mm şi lungimea de 500...700 mm.

Regimurile de tăiere, care asigură productivitatea maximală a procesului de tăiere se stabilesc experimental. Tăierea se realizează prin deplasarea continuă a electrodului. Deplasarea începe de la muchie şi se efectuează cu mişcarea capătului electrodului în sus şi în jos. Metalul cu grosimea până la 15 mm se taie cu deplasarea continuă a electrodului longitudinal liniei de tăiere (fig. 14.4, a).

La tăierea metalului cu grosime mare (fig. 14.4, b) deplasarea electrodului de la suprafaţa superioară la cea inferioară se realizează încet, iar la ridicarea electrodului în sus – rapid. Tăierea subacvatică a metalului cu arc electric se utilizează pentru grosimi sub 20 mm.

Procesul tăierii subacvatice cu arc electric în mediu de oxigen îmbină prioritătile descărcării electrice şi jetului de oxigen. Din contul căldurii arcului se produce încălzirea şi topirea metalului, iar oxigenul – arde şi suflă metalul topit din tăietură.

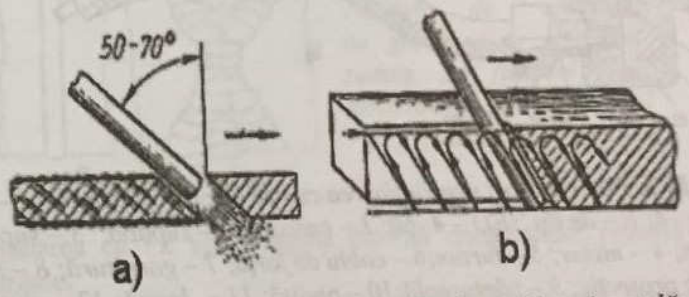


Fig. 14.4. Schema tăierii cu arc electric în poziţie orizontală: a – a metalului de grosime mică (< 15 mm); b – a metalului cu grosime mare (> 15 mm)

Electrozii din carborund cu lungimea de 250 mm ard în 15 minute, însă electrozii cu dimensiuni mari (diametrul 15...18 mm) se utilizează pentru tăierea metalului cu grosimea până la 30 mm.

Pentru sudarea subacvatică cu arc electric în mediu de oxigen se folosesc portelectrozi de construcţii speciale (fig. 14.5, a, b).

Tăierea cu arc electric în mediu de oxigen se foloseşte pentru tăierea metalelor cu grosimea până la 120 mm la adâncimi până la 100 m.

Tăierea cu semiautomatul ПШСР-300-2 se realizează cu avansul

sârmei şi suflarea concentrică a oxigenului, care pătrunde în capul de sudare al semiautomatului.

Concentrarea mare de căldură şi jetul îngust de oxigen asigură tăierea metalului cu grosimea până la 25 mm la puterea curentului 300 A cu viteza de 4 m/h.

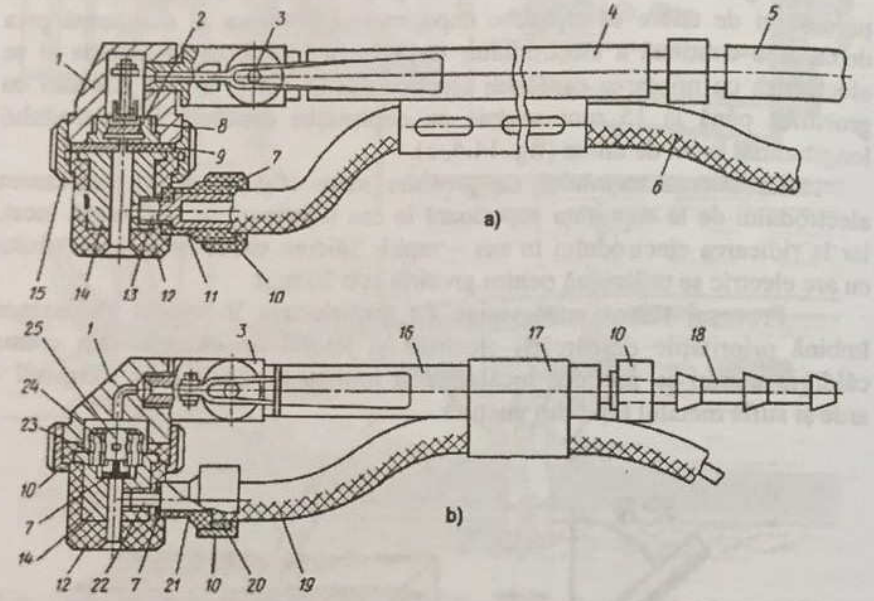


Fig. 14.5. Portelectrozi pentru tăierea cu arc electric şi oxigen: a – de tip ЭКD – 4; b – de tip ЭКD – 4 -60: 1 – carcasă; 2 – supapa; 3 – supapă de oxigen; 4 – miner; 5 – furtun;6 – cablu de forţă; 7 – garnitură; 8 – supapă de protecţie; 9 – căptuşeală;10 – piuliţă; 11 - bucşă; 12 – ajutaj; 13 – contact; 14 – capătul apucătorului; 15 – piuliţă; 16 – ţeavă; 17 – mâner; 18 – niplu; 19 – cablu; 20 – şaibă; 21 – bucşă; 22 – contact; 23 – garnitură; 24 – cameră de stingere a scânteilor; 25 – capac

Capitolul 15
SUDAREA CU FASCICUL DE ELECTRONI

Sudarea cu fascicul de electroni (SFE) face parte din grupa procedeelor de sudare prin topire. Sursa termică o constituie un fascicul de electroni (FE) concentrat, având o viteză şi ca urmare, o energie cinetică mare, care bombardează componentele de sudat. La impactul fasciculului de electroni cu componentele de sudat, energia cinetică a acestuia se transformă în căldură şi are loc o încălzire locală, rapidă a materialului.

Procesul de sudare decurge în vid (10^{-2}...10^{-4} torr) deoarece:

- atmosfera ar provoca frânarea şi dispersia FE;
- vidul realizează protejarea suprafeţelor şi cusăturii împotriva oxidării şi impurificării cu alte gaze.

Densitatea de putere mare a procedeului reduce pierderile prin conducţie termică, mărind astfel pătrunderea sudării. Se ajunge, în felul acesta, să se sudeze printr-o trecere, fără material de adaos, componentele cu grosimi până la 300 mm, respectiv cu viteze de sudare ridicate (până la 15...20 m/min) (fig. 15.1).

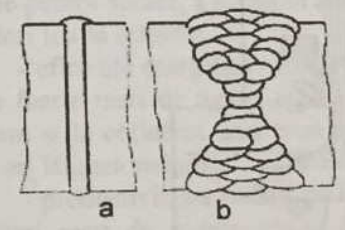


Fig. 15.1. Aspectele unor cusături de aluminiu cu grosimea de 100 mm sudate cu fascicul de electroni (a) şi cu procedeul MIG (b)

Sudarea cu FE este posibilă datorită următoarelor procese fizice fundamentale:

a) emisia termoelectrică, care este emisia datorată temperaturii ridicate a suprafeţei unui electrod de construcţie specială, numit catod;

b) deplasarea electronilor de la catod la piesa de sudat sub acţiunea unui câmp electromagnetic accelerator, realizat cu ajutorul unor anozi speciali, focalizaţi cu un sistem de focalizare electrostatic sau electromagnetic pentru a se realiza o cât mai mare concentrare energetică;

c) bombardarea suprafeţei de sudat cu fascicul focalizat, având o densitate de putere mare.

În funcţie de cantitatea de energie şi durata aplicării, FE poate determina:

- încălzirea superficială a materialului, fără topire, utilizată la operaţiile de tratament termic de călire;
- topirea materialului în profunzime, utilizată pentru realizarea

găuririi, tăierii sau sudării;

- vaporizarea unei porţiuni reduse, existând o zonă foarte subţire de material topit, utilizată pentru tratamentul termic prin fuziune.

Aptitudinea de sudare a unui fascicul de electroni poate fi apreciată pe baza următoarelor caracteristici ale sale:

- puterea depusă de piesa de sudat;
- diametrul punctului de impact şi repartiţia puterii specifice a fasciculului pe piesă;
- divergenţa fasciculului definită prin unghiul θ (vezi figura 15.2).

Având în vedere aceste precizări, o instalaţie pentru generarea fasciculului de electroni necesar pentru sudare trebuie să cuprindă următoarele elemente constructive, prezentate în figura 15.2:

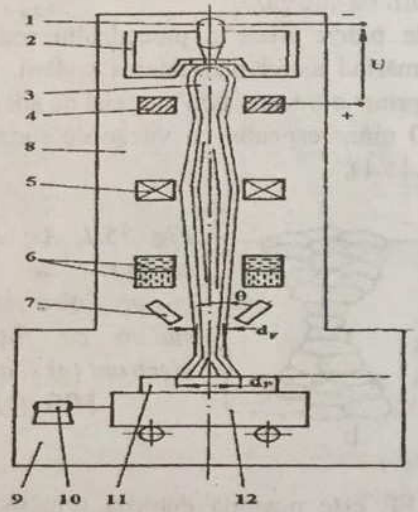


Fig. 15.2 Schema de principiu a procedeului de sudare cu fascicul de electroni (SFE)

1 – catod, care furnizează electronii prin emisie termoelectronică;

2 – grilă de comandă, care face posibil controlul emisiei şi varierea fluxului de electroni, prin modificarea potenţialului său negativ faţă de catod;

3 – fascicul de electroni;

4 – anod;

5 – sistem de focalizare a fasciculului, necesar pentru realizarea unui spot de electroni cît mai concentrat;

6 – sistem de deflexie, care produce deplasarea comandată a FE după cele două axe de coordonate rectangulare, în plan orizontal;

7 – sistem optic de urmărire şi control al procesului de sudare, prin

analizarea electronilor retrodifuzaţi sau a emisiei de raze X din timpul sudării;

8, 9 – camere de vacuum;

10 – acţionarea mesei;

11 – piesă de sudat;

12 – masă.

În practică, diagnoza FE folosit la sudare se efectuează fie prin determinarea repartiţiei spaţiale a puterii sale, fie prin analiza unei zone topite, lăsate de acesta pe o piesă de probă.

15.1. Avantajele şi dezavantajele procedeului SFE

Avantajele procedeului de sudare cu fascicul de electroni sunt următoarele:

- grad mare de universalitate, putându-se realiza îmbinări sudate superioare celor care se pot obţine folosind procedeele clasice de sudare prin topire;
- modul specific de transfer al energiei FE asupra piesei, conduce la obţinerea unor suduri de o supleţe deosebită, exprimată într-un coeficient de formă foarte scăzut (0,05 ... 0,1), cu efecte favorabile asupra consumului de energie pentru sudare, a nivelului tensiunilor interne şi a deformaţiilor, care au valori foarte scăzute;
- eficienţa energetică ridicată a încălzirii materialului, caracterizat de viteze foarte mari de topire, conduce la o încălzire redusă a materialului adiacent şi la obţinerea unei zone influenţate termic de dimensiuni reduse (1...2 ori lăţimea sudurii);
- productivitatea sudării cu FE este foarte ridicată, în sensul că, la adâncimi mari de sudare, viteza de sudare este considerabil mai mare comparativ cu cele utilizate în cazul celorlalte procedee de sudare prin topire, iar cusătura sudată rezultă ca sudură continuă şi nu ca sudură în mai multe straturi;
- calitate deosebită a prelucrării, astfel încât se pot realiza găuri sau sudură pe piese gata finisate;
- viteze ridicate la sudare şi posibilităţi de comandă şi urmărire a parametrilor, atât manuală cât şi programată;
- vidul din camera de lucru permite sudarea materialelor reactive şi refractare (Ti, W, Ta, Zr, Nb) şi minimizează contaminarea cu O_2, N_2, H_2;
- pot fi sudate în bune condiţii, într-o singură trecere fără material de adaos, îmbinări cap la cap cu rost în „I”, la table groase şi subţiri (0,05...300 mm), limitarea superioară a grosimii fiind determinată de puterea tunului electronic;
- FE poate fi detectat magnetic (pentru sudarea unor componente de forme complicate sau în locuri greu accesibile) şi oscilat magnetic, pentru a

îmbunătăţi calitatea sudurii sau pentru a mări pătrunderea;

- pot fi realizate îmbinări eterogene şi suda metale cu conductibilitate termică ridicată (Cu, Al etc);

- FE poate fi focalizat pe o adâncime mare de focalizare, deci se poate adapta la o gamă largă de distanţe de lucru.

Dezavantajele sunt următoarele:

- complexitatea instalaţiilor şi necesitatea asigurării unui vid înaintat în acestea, conduc la un cost ridicat al instalaţiilor de acest fel. Totuşi, la un volum mare de producţie, preţul de cost/piesă atins prin SFE poate fi foarte competitiv;

- există pericolul iradierii cu raze X şi a prezenţei unor gaze toxice, ceea ce impune folosirea unor ecrane de plumb şi o ventilare adecvată după sudare;

- necesită o precizie ridicată de prelucrare şi pregătire a rostului, precum şi o precizie ridicată de asamblare;

- apar unele probleme specifice la sudarea tablelor de grosime mare ca: dificultatea de prelucrare precisă a rostului, creşterea efectelor deflexiei fasciculului datorită unor câmpuri magnetice şi a pericolului producerii unor defecte în zona terminală a cusăturii;

- mărimea camerei de sudare condiţionează gabaritul şi complexitatea geometrică a pieselor de sudat, iar timpul necesar pentru executarea camerei influenţează costurile de producţie;

- datorită vitezelor mari de răcire şi al existenţei unui gradient al vitezei de răcire pe grosimea sudurii, pot apărea constituenţi de călire de tip martensită şi bainită, care măresc duritatea şi înrăutăţesc comportarea în exploatare a îmbinărilor sudate, necesitând, pentru anumite cupluri de materiale de bază, aplicarea unui tratament termic după sudare.

15.2. Tehnologia sudării cu fascicul de electroni

Procedeul de sudare cu fascicul de electroni permite sudarea dintr-o trecere a componentelor cu grosimea de 0,05...300 mm. Prin alegerea convenabilă a parametrilor de sudare, cu un anumit echipament se poate realiza atât sudarea componentelor cu grosime mică, cât şi a celor cu grosime mare. Grosimea este limitată doar de puterea tunului electric.

15.3. Sudarea oţelurilor nealiate şi slab aliate cu fascicul de electroni

Grosimile maximale, care pot fi sudate cu fascicul de electroni la scara industrială sunt de 200 mm la poziţia înclinată şi 80 mm pentru poziţie orizontală. Cusătura are o compoziţie chimică asemănătoare materialului de bază, deoarece mediul de lucru este vidat, iar sudarea se execută fără material de adaos. Cu toate acestea, datorită particularităţilor procesului de sudare, pot apare şi variaţii ale compoziţiei chimice.

Datorită valorii scăzute a timpului de răcire a densităţii de energie ridicate şi a gradientului vitezelor de răcire mare, structura metalografică este în principal martensitică la rădăcina cusăturii şi predominant bainitică pe măsura ce înaintăm spre partea superioară a cusăturii.

Structura este predominant martensitică pentru table subţiri şi bainitică pentru table de grosime medie şi mare.

Datorită vitezelor de răcire crescute şi a prezenţei structurii martensitice sau bainitice, sudura se caracterizează printr-o duritate mare, ce implică obligatoriu aplicarea unui tratament termic după sudare.

Duritatea cusăturii e mai mică decât duritatea zonei influenţată termic, datorită evoluţiei compoziţiei chimice (evaporarea elementelor de aliere, dezoxidare etc).

Scăderea durităţii HB din ZIT se poate obţine prin:

- scăderea energiei liniare la sudare;

- efectuarea unei preîncălziri înainte de sudare, care se realizează prin delocalizarea fasciculului de electroni (focarul se poziţionează deasupra componentelor);

- oscilarea fasciculului de electroni;

- tratamentul termic după sudare, care în general constă în călire + revenire;

- folosirea unor materiale de adaos.

La sudarea cu fascicul de electroni se utilizează în exclusivitate rosturi „*i*". Deschiderea rostului trebuie să fie cât mai mică (de la 0,1 până la 0,3 mm). Înainte de sudare, piesele trebuie curăţate pentru a îndepărta orice urmă de oxizi, rugină, ulei. Se recomandă degresarea pieselor cu un solvent organic. Prinderea provizorie a pieselor se efectuează, ca regulă, prin sudare cu un fascicul de electroni de putere scăzută sau prin fixarea în dispozitive speciale (fig. 15.3). În figura 15.4 sunt prezentate diferite îmbinări realizate cu fascicul de electroni.

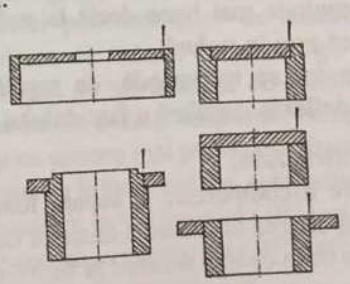


***Fig. 15.3.** Moduri de pregătire ale pieselor pentru sudarea circulară axială cu fascicul de electroni*

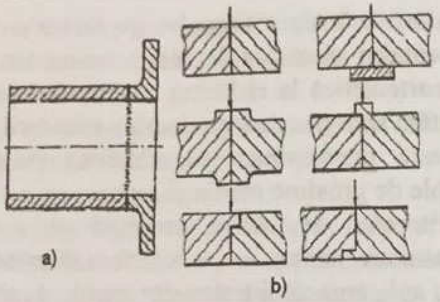


Fig. 15.4. Îmbinări sudate cu fascicul de electroni: a – circulară radială; b – cap la cap

15.4. Sudarea oţelurilor inoxidabile cu fascicul de electroni

Oţelurile inoxidabile au o comportare bună la sudare cu fascicul de electroni şi se caracterizează prin:

- grosimea maximală stabilă a pieselor de sudat este 150 mm în poziţie cornişă şi 60 mm în poziţie orizontală;
- scăderea procentului de fosfor şi sulf (< 0,04%);
- este necesară sudarea cu oscilarea fasciculului de electroni, pentru a elimina efectul de neuniformitate a pătrunderii;
- caracteristicile mecanice ale cusăturii sunt asemănătoare cu ale materialului de bază;
- la sudarea oţelurilor inoxidabile feritice cu oţeluri carbon sau slab aliate apare deflexia fasciculului de electroni din planul îmbinării sudate spre oţelul cu crom.

15.5. Sudarea cuprului şi aliajelor sale

Poate ridica dificultăţi datorită conductibilităţii sale termice ridicate. Datorită concentrării puternice a energiei la sudarea cu fascicul de electroni a cuprului se obţin rezultate mai bune decât la sudarea cu alte procedee. Uneori pot să apară însă pori în sudură.

Pentru evitarea lor se recomandă, de regulă, preîncălzirea cu un fascicul defocalizat şi deflexia circulară a fasciculului.

15.6. Sudarea nichelului

Nichelul pur are o comportare la sudare foarte bună. La creşterea nivelului de aliere comportarea la sudare a aliajelor de nichel se înrăutăţeşte şi materialul devine din ce în ce mai sensibil la fisurare la cald.

Ca remediu se recomandă sudarea cu viteză scăzută.

15.7. Sudarea materialelor reactive şi refractare

Titanul, zirconiul, tantalul sau niobiul au o comportare bună la sudare, îmbinarea sudată prezentând proprietăţi mecanice asemănătoare cu

cele ale materialului de bază. Molibdenul, wolframul şi beriliul sunt susceptibile la fragilizare în zona sudării şi necesită o preîncălzire cu un fascicul de electroni defocalizat sau deflexia fasciculului.

15.8. Echipamente de sudare cu fascicul de electroni

Un echipament de sudare cu fascicul de electroni se compune din următoarele părţi principale, figura 15.5:

- tun electronic;
- cameră de sudare;
- sistem de vidare;
- sistem de alimentare;
- sistem de comandă şi reglare.

Caracteristicile principale ale unui echipament de sudare cu fascicul de electroni sunt: tensiunea de accelerare, puterea tunului electronic şi dimensiunile camerei de sudare.

În funcţie de tensiunea de accelerare cu care operează, deosebim:

- echipamente de sudare de tensiune joasă, 30...60 kV;
- echipamente de sudare de tensiune înaltă, 150...175 kV.

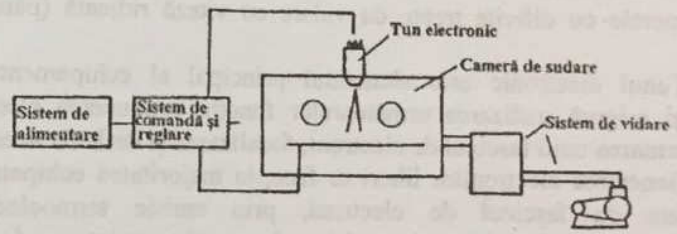


Fig. 15.5. Părţile componente ale unui echipament de sudare cu fascicul de electroni

Între cele două grupe de echipamente nu există diferenţe semnificative sub aspectul performanţelor de sudare. Ambele grupe pot soluţiona aceleaşi probleme de sudare, cu observaţia că echipamentele de tensiune înaltă funcţionează cu un fascicul de electroni cu diametrul mai mic, mai uşor de comandat. În acelaşi timp însă, echipamentele de tensiune joasă sunt mai simple şi ca urmare mai puţin costisitoare.

În funcţie de presiunea la locul sudurii, echipamentele de sudare pot fi:

- echipament de sudare în vid înaintat (10^{-4} torr);
- echipament de sudare în vid parţial (10^{-2} torr);
- echipament de sudare în atmosferă.

În funcţie de regimul de lucru, echipamentele de sudare se pot clasifica în:

- echipament de sudare standard;
- echipament de sudare cu regim ciclic;

- echipament de sudare cu regim continuu.

Echipamentele de sudare standard sunt dotate cu o cameră de sudare care preia componentele de sudat. Fiecare ciclu de sudare cuprinde încărcarea-descărcarea componentelor, vidarea camerei şi sudarea. Durata unui ciclu poate fi de la câteva minute până la zeci de minute şi depinde de dimensiunile camerei, presiunea necesară pentru sudare şi de sistemul de vidare. Aceste echipamente sunt, de regulă, universale, fiind destinate producţiei de serie mică, camerele de vid adaptate ca formă pieselor care se sudează. Echipamentele de sudare sunt dotate cu mai multe camere de vid; în timp ce într-o cameră de vid, aflată sub tunul electronic, are loc sudarea, în celelalte camere se desfăşoară operaţiile auxiliare sudării (încărcarea-descărcarea componentelor, vidarea camerei). În felul acesta, ciclul de sudare durează un timp scurt, de ordinul secundelor, echipamentele de sudare de acest tip fiind destinate producţiei de serie mare.

Echipamentele de sudare cu regim continuu sunt destinate sudării unor componente cu lungime nedefinită (ţevi, benzi). Camera de sudare este intercalată între camere de previdare, respectiv de trecere la presiunea atmosferică. Procesul de sudare decurge continuu, componentele trecând prin camerele cu diferite trepte de vidare cu viteză ridicată (până la 20 m/min).

Tunul electronic este elementul principal al echipamentului de sudare şi asigură realizarea următoarelor funcţii: producerea electronilor liberi, formarea unui fascicul de electroni, focalizarea şi deflexia acestuia.

Generarea electronilor liberi se face, la majoritatea echipamentelor de sudare cu fascicul de electroni, prin emisie termoelectronică. În cazuri rare se utilizează emisia electronilor printr-o descărcare luminiscentă. Catozii termoemisivi pot fi de două feluri şi anume:

- cu încălzire directă la temperatura de emisie;
- cu încălzire indirectă prin radiaţie sau bombardament electronic.

15.9. Aplicaţii

Principalele domenii de aplicare sunt:

- industria aeronautică;
- industria autovehiculelor;
- industria energetică;
- industria grea;
- industria electrotehnică şi electronică.

În prezent se sudează cu fascicul de electroni: pinioane, pistoane pentru motoare diesel, ambreiaje, arbori port-sateliţi, conuri de sincronizare pe pinioane, roţi dinţate, tuburi baladoare, bujii, amortizoare, punţi de autocamioane etc.

Pe lângă motivaţia tehnică, sudarea cu fascicul de electroni

determină creşterea eficienţei producţiei prin:

- scăderea consumului de materiale şi energie;
- creşterea productivităţii sudării, prin înlocuirea procedeelor de sudare clasice;
- scăderea consumului de material de adaos şi scăderea consumului de materiale deficitare, mai ales la schimbarea concepţiei constructive a ansamblurilor.

Sub aspect economic sudarea cu fascicul de electroni prezintă următoarele avantaje:

- folosirea rosturilor în „I", fără deschidere;
- nu necesită material de adaos;
- viteza de sudare foarte mare;
- eficienţa economică avansată;
- permite eliminarea prelucrărilor ulterioare sudării şi în anumite cazuri, a tratamentului termic după sudare.

Capitolul 16
SUDAREA ELECTRICĂ PRIN PRESIUNE

La procedeele de sudare prin presiune zona îmbinării este, de regulă, încălzită la o temperatură inferioară temperaturii de topire şi apoi elementele care formează structura sudată sunt presate, în general fără utilizarea unui material de adaos. Prin presare, atomii periferici ai suprafeţelor în contact ajung la distanţe comparabile cu cele ale reţelei cristaline ale metalului respectiv, astfel încât se stabilesc legături interatomice care conduc, în final, la formarea unor granule cristaline comune celor două metale în contact.

Procedeele de sudare prin presiune, cu toate că au un element comun, care concurează la realizarea îmbinării, presiunea, se deosebesc radical între ele, prin natura sursei de căldură şi prin modul cum se realizează legătura de sudură.

Clasificarea acestor procedee poate fi realizată după diverse criterii:
- temperatura din zona îmbinării;
- forma îmbinării realizate;
- intensitatea forţelor de presare;
- caracteristicile tehnologice.

I. *Conform temperaturii maxime atinse în zona în care are loc sudarea,* distingem patru tipuri de procedee de sudare:

1) Sudarea prin presiune la rece (sudarea neelectrică), temperatura metalului nu depăşeşte temperatura sa de recristalizare. În mod obişnuit se sudează la temperatura mediului ambiant materiale cu plasticitate înaltă, folosind presiuni de refulare foarte mari (de 8...10 ori mai mari decât rezistenţa la curgere) a materialului respectiv.

2) Sudarea prin presiune, în stare solidă, la cald. Temperatura materialului depăşeşte temperatura de recristalizare şi se situează în domeniul plastic (sub temperatura de topire). Se folosesc presiuni de refulare reduse (de 8...10 ori mai mici decât rezistenţa la rupere a materialului de bază). Fac parte procedeele de sudare prin forjare, cu flacără de gaze, sudarea electrică prin rezistenţă, sudarea cu curenţi de înaltă frecvenţă, sudarea prin frecare.

3) Sudarea prin presiune, cu topire intermediară, când se atinge sau se depăşeşte temperatura de topire. Există un moment în care suprafeţele de sudat sunt acoperite cu un strat de metal topit, care este însă expulzat în exterior în timpul refulării. Se folosesc presiuni mari pentru a elimina complet metalul topit din îmbinare. Fac parte sudarea electrică prin scânteiere şi sudarea cu arc electric rotitor.

4) Sudarea prin presiune cu nucleu topit este un caz particular al sudării electrice în puncte şi linie, care reţine în interior metalul topit în formă de nuclee. Forţa de presiune de mărime mare (de 8...10 ori şi mai

mult decât rezistenţa la rupere a materialului de bază), determină calitatea îmbinării, având rolul de a asigura un contact electric ferm în locul de trecere al curentului, dar şi a proteja nucleul ca într-o cochilie metalică închisă.

II. *Conform poziţiei componentelor în timpul sudării* (fig. 16.1) se deosebesc:

1) Sudarea cap la cap (fig. 16.1, a), când componentele sunt dispuse cu axele în prelungire, se sudează astfel bare, ţevi, rotile, table şi platbande.

2) Sudare prin suprapunere (fig. 16.1, b), când componentele sunt suprapuse total sau parţial, axele acestora rămânând, în general, paralele.

3) Sudare în cruce (fig. 16.1, c), în cazul barelor dispuse suprapus cu axele reciproce perpendiculare.

4) Sudare în „T" (fig. 16.1, d), când se sudează frontal o piesă, ca regulă cilindrică (bolţ, bucşă) de o placă.

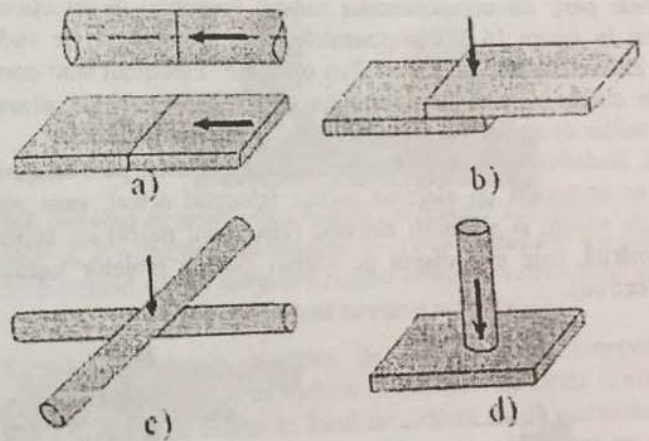


Fig. 16.1. *Forme tipice de îmbinări prin presiune*

III. *Conform intensităţii forţei ce acţionează asupra componentelor în timpul sudării* se deosebesc următoarele procedee:

1) Cu intensitatea mică de acţiune a forţei, când nu se observă o deformare macroscopică a componentelor.

2) Cu intensitatea medie de acţiune a forţei, când se observă deformarea materialului în zona îmbinării (majoritatea procedeelor de sudare prin presiune)

3) Cu intensitatea mare de acţiune a forţei, când se produc deformaţii însemnate ale materialului în zona îmbinării.

IV. Conform caracteristicii tehnologice, clasificarea tipurilor de îmbinări ale tablelor sunt prezentate în figura 16.3.

16.1. Principiul sudării electrice prin presiune în puncte

Sudarea în puncte este un procedeu de sudare electrică prin presiune şi conducţie a două sau mai multe piese suprapuse, strânse între doi electrozi de contact. Sudarea se realizează în locurile prin care trece curentul electric. Deci, acest procedeu de sudare se bazează pe efectul Joule, de trecere a curentului electric prin coloana de metal cuprinsă între vârfurile electrozilor de contact (fig. 16.2).

Punctul de sudură care se obţine este de formă lenticulară şi se formează în planul de separare al componentelor de sudat (fig. 16.3, c).

Punctul de sudură realizează o îmbinare nedemontabilă între piesele de sudat, înlocuind cu succes îmbinările cu şuruburi (fig. 16.3, a) sau cu nituri (fig. 16.3, b).

După poziţia electrozilor de contact se deosebesc două tipuri de sudare, electrică prin presiune în puncte.

1. *Sudarea directă în puncte,* la care electrozii de contact sunt plasaţi pe ambele părţi ale componentelor sudate. Principiul de funcţionare este prezentat în figura 16.2. Componentele, care urmează să fie sudate sunt strânse între electrozii de contact *2* cu o forţă *F*. Electrozii sunt conectaţi la sursa de curent *3*, care furnizează un curent de intensitate avansată (de ordinul miilor de amperi) şi tensiune mică (de ordinul volţilor).

2. *Sudarea indirectă în puncte* (sudarea în puncte pe o singură parte), la care se utilizează un electrod ascuţit (electrod activ), care realizează punctul de sudare şi al doilea electrod (electrodul pasiv) cu suprafaţa de contact mărită, care este dispus pe aceiaşi parte a tablelor sudate (ca şi primul electrod).

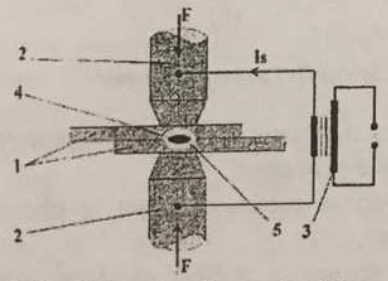


***Fig. 16.2.** Schema de principiu a sudării (în puncte) directe: 1 – piesele de sudat; 2 – electrozi de contact; 3 – sursa de sudare; 4 – punct de sudură; 5 – zona influenţată termic a materialului ZITM*

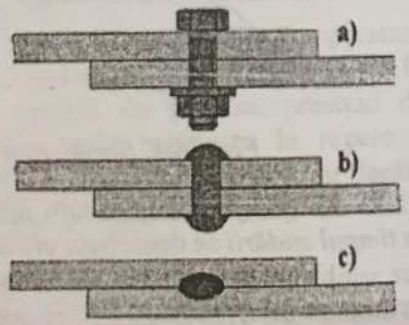


***Fig. 16.3.** Tipuri de îmbinări ale tablelor: a – prin şuruburi; b – prin nituri; c – prin sudare in puncte*

Cu electrodul pasiv se realizează închiderea circuitului electric (fig. 16.4). În acest caz piesele sunt aşezate pe un suport **5**. Sursa de sudare se confecţionează pe o durată determinată de timp numai după o strângere prealabilă a componentelor de sudat cu o forţă de strângere *F*.

În ambele cazuri, curentul de sudare I_s trece prin piese, concentrîndu-se în coloana de metal cuprinsă între vârfurile electrozilor. Ca urmare al efectului Joule, masa de metal dintre electrozii de contact se comportă ca o rezistenţă electrică şi se încălzeşte. În prima fază, încălzirea se va produce în zona de contact dintre componente, unde rezistenţa opusă la trecerea curentului este mai mare. Sub acţiunea forţei de strângere, piesele vin în contact tot mai apropiat şi se produce încălzirea întregii coloane de metal.

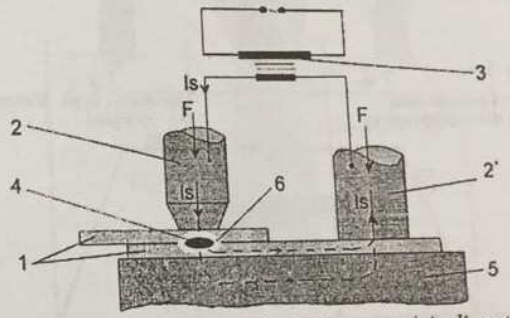


***Fig. 16.4.** Schema de principiu a sudării (în puncte) indirecte: 1 – piesele de sudat; 2, 2' – electrozi de contact; 3 – sursa de sudare; 4 – punct de sudură; 5 – masă suport din cupru pentru închiderea circuitului electric; 6 – zona influenţată termic a materialului*

Datorită rezistenţei electrice de contact dintre componente, al rezistenţei proprii a coloanei de metal şi al efectului de răcire al electrozilor, temperatura maximă se obţine în locul de contact dintre componente (între electrozi). După un anumit timp în această zonă se formează un nucleu de metal topit, aparţinând ambelor componente, care urmează să fie sudate. Nucleul creşte în dimensiuni pe măsura trecerii curentului electric de sudare. La întreruperea curentului de sudare, nucleul topit se solidifică, formând punctul de sudură.

O operaţie de sudare prin presiune în puncte necesită parcurgerea următoarelor faze (fig. 16.5):

- introducerea componentelor de sudat suprapuse între electrozii de contact, în poziţia necesară;
- coborârea electrodului superior şi strângerea componentelor între electrozi cu forţa *F*;
- conectarea curentului de sudare pentru un timp determinat, care duce la iniţierea şi dezvoltarea nucleului topit (sudarea);

- întreruperea curentului de sudare şi solidificarea nucleului topit sub acţiunea forţei de strângere F (formarea);

- ridicarea electrodului superior şi evacuarea componentelor, urmând ca succesiunea fazelor să se repete pentru un alt punct de sudură.

Diagrama prezentată în figura 16.5, reprezintă un ciclu de sudare, în care forţa de apăsare şi intensitatea curentului de sudare au valori constante în timp. Acesta este ciclul elementar de sudare prin presiune în puncte.

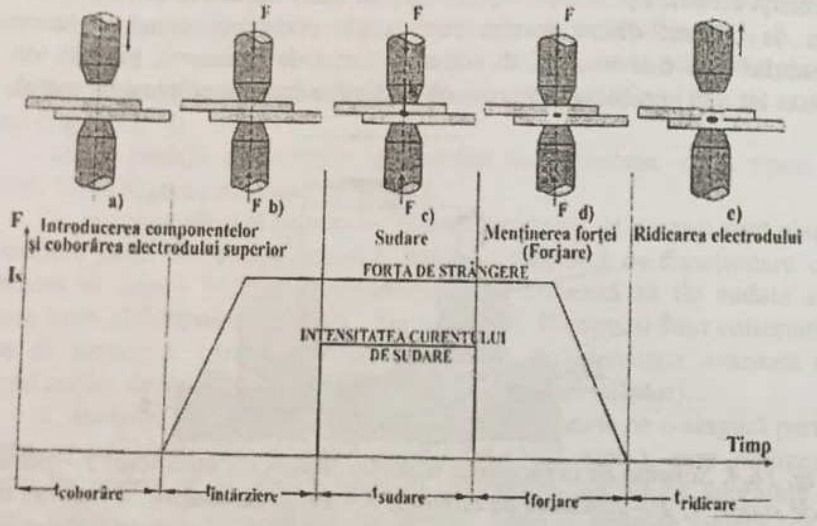


Fig. 16.5. *Fazele operaţiilor la sudarea în puncte*

În cazurile concrete de sudare este necesară stabilirea judicioasă a duratei fiecăreia din fazele prezentate, astfel încât să se poată obţine calitatea corespunzătoare a punctului sudat, în condiţiile unei productivităţi majorate.

16.2. Procesul electric al formării punctului de sudură

Procesul electric se produce ca urmare a trecerii curentului electric de sudare prin coloana de metal cuprinsă între vârfurile electrozilor de contact, în urma căruia, prin efectul Joule, se degajă o anumită cantitate de căldură.

Cantitatea de căldură depinde în primul rând de intensitatea curentului de sudare, rezistenţa electrică totală ce revine în zona sudării şi timpul de trecere a curentului de sudare.

Rezistenţa electrică la sudarea în puncte prezintă de fapt o însumare din mai multe rezistenţe (fig. 16.6): R_c – rezistenţa de contact dintre componente; R_p – rezistenţa proprie a componentelor; R'_c – rezistenţa de contact dintre electrozi.

Dacă componentele sunt din acelaşi material şi au aceeaşi grosime, rezistenţa totală se calculează din relaţia: $R = Rc + 2Rp + 2R'c$.

Rezistenţa de contact. Indiferent de modul de prelucrare, suprafeţele metalice ale componentelor (semifabricatelor) nu sunt perfect plane, dar prezintă o anumită rugozitate, mai mare sau mai mică.

Aspectul a două suprafeţe metalice în contact, la o scară mare este prezentată în figura 16.7.

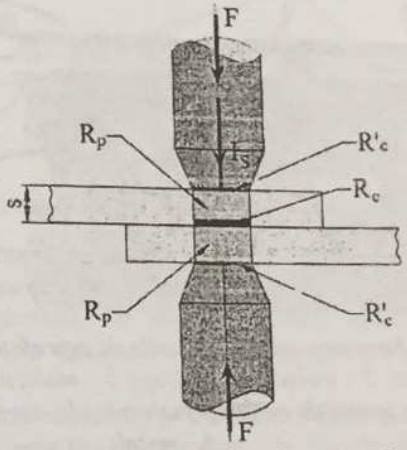


Fig. 16.6. *Schema acţionării rezistenţelor de contact la sudarea electrică prin presiune:*
R_c - rezistenţa de contact dintre piesele sudate; R_p – rezistenţa proprie a pieselor; R'_c – rezistenţa de contact electrod-piesă

Pe lângă acestea, suprafaţa metalică poate fi acoperită cu oxizi, grăsimi, impurităţi ş.a., de aceea poate exista un strat metalic, care îngreunează procesul de sudare (fig. 16.8), iar îndepărtarea lor totală este dificil de realizat.

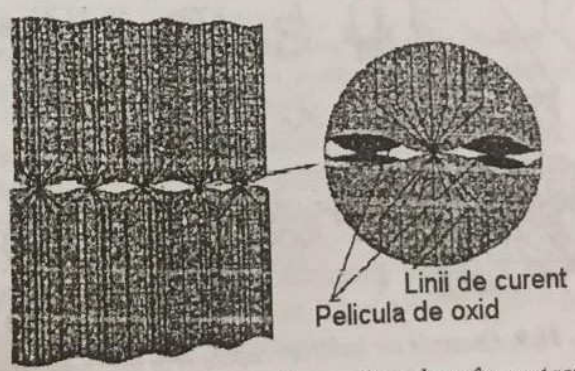


Fig. 16.7. *Aspectul a două suprafeţe plane în contact*

Mai răspândite sunt următoarele procedee de sudare electrică prin presiune:

- sudarea în puncte;
- sudarea în linie;
- sudarea în relief;
- sudarea cap la cap.

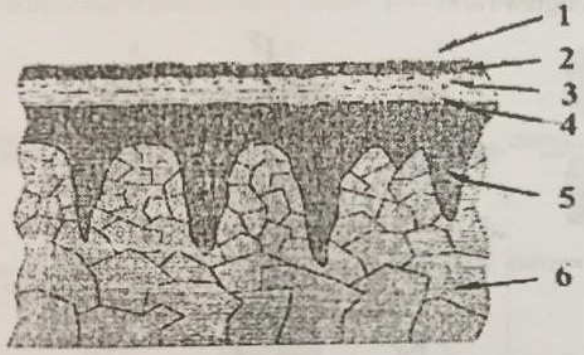


Fig. 16.8. Structura stratului metalic de suprafaţă: 1 – particule de praf ionizate; 2 – moleculede grăsimi; 3 – molecule de apă; 4 – strat absorbit de anioni de oxigen şi molecule de aer; 5 – strat de oxid; 6 – metal

În figurile 16.9 şi 16.10 sunt prezentate exemple de ansambluri fixate cu sudarea electrică prin presiune.

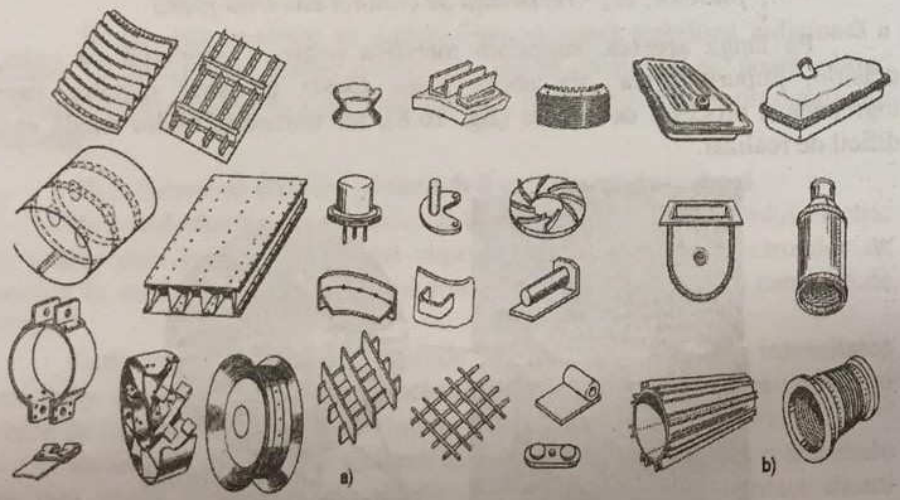


Fig. 16.9. Exemple de îmbinări sudate prin presiune: a – în puncte; b – în relief; c – în linie

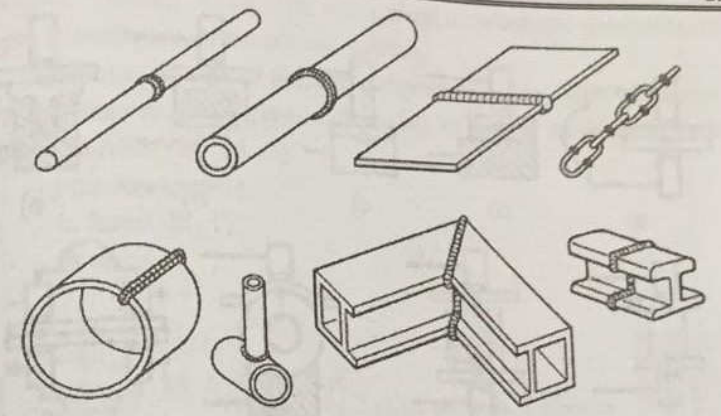


Fig. 16.10. Exemple de îmbinări sudate cap la cap prin presiune

16.3. Sudarea în puncte

Sudarea în puncte este procedeul, prin care piesele nu se sudează pe toată suprafaţa îmbinării, dar numai în puncte aparte, corespunzătoare contactelor cu piesele electrozilor care strâng piesele şi conduc curentul electric.

Pentru îmbinarea pieselor se utilizează diferite procedee de sudare în puncte (fig. 16.11), care se caracterizează prin felul de alimentare cu curent. Cea mai răspândită este sudarea cu doi electrozi cu alimentarea cu curent din două părţi (fig. 16.11,a), utilizată la majoritatea maşinilor pentru sudarea în puncte. Uneori în calitate de al doilea electrod se utilizează un suport plat (fig. 16.11,b), care asigură comoditatea de instalare a componentelor, care urmează să fie sudate, în diferite dispozitive. Pentru aceasta suporţii din cupru se aşează în locurile de executare a punctelor de sudură.

Dacă una din piesele îmbinate are grosimea mai mare decât a doua piesă (de 3 ori şi mai mult), atunci curentul electric se poate aduce la piesa inferioară (fig. 16.11, c).

Sudarea pieselor, dintre care una este mai subţire şi cavă, se realizează cu utilizarea unei garnituri conducătoare de curent electric (fig. 16.11, d, j).

La sudarea unor piese complicate se utilizează electrozi, suprafeţele cărora corespund formelor componentelor sudate (fig. 16.11, e, h). La sudarea a trei piese cu grosimi diferite simultan se realizează două îmbinări (fig. 16.11, f).

Pe unele maşini speciale se utilizează scheme de sudare în două puncte (fig. 16.11, i) cu alimentarea cu curent electric dintr-o parte sau din două părţi.

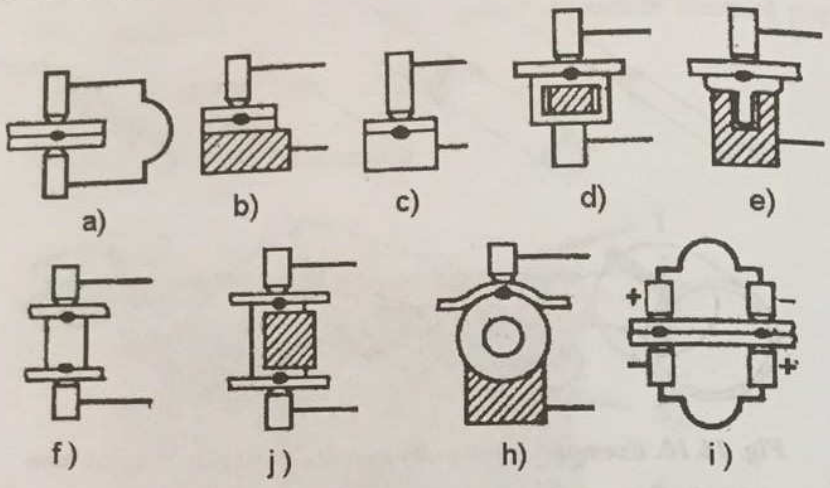


Fig. 16.11. Procedee de sudare în puncte

Prioritățile acestui procedeu de sudare sunt avansarea productivității datorită executării simultane a două și a mai multe puncte de sudură, puterii mai scăzute a utilajului și posibilităților majorate de mecanizare a procedeului de sudare. La sudarea în puncte îmbinarea se realizează numai cu topirea metalului (pieselor) componentelor.

16.4. Sudarea în relief

Sudarea în relief prevede existența la una sau la ambele piese, care urmează să fie sudate a unor proeminențe (ieșinduri) speciale, în locul contactului care formează îmbinarea sudată. Sudarea în relief se poate realiza în puncte aparte sau în grupe de puncte, pe sectoare de diferite forme: drept-liniare, curbe, circulare ș. a. Ieșindurile – relief, ca regulă, se execută în timpul confecționării pieselor din table prin ștanțare, prelucrare mecanică ș. a.

La sudarea în relief se folosesc electrozi sau plite cu suprafețele utile plate, ce permit realizarea ansamblurilor cu suprafețe plane fără cute (turtiri).

La sudarea în relief concentrația curentului electric se realizează prin contactul punctiform realizat între piesele de sudat, acestea fiind strânse între electrozi (plăci), care au rolul de a transmite curentul spre zona de sudat, transmițând concomitent și forța necesară de strângere. Esențială este înlocuirea contactului plan dintre suprafețe cu contact punctiform sau liniar

(curbiliniu, circular). Acest lucru este realizat de reliefurile (proeminențele), care pot fi artificiale, provocate sau naturale.

Conform tipului și poziției componentelor de sudat și modul de realizare a concentrării curentului de sudare se disting următoarele variante de sudare în relief (fig. 16.12):

- prin suprapunere;
- în formă de „T";
- în cruce.

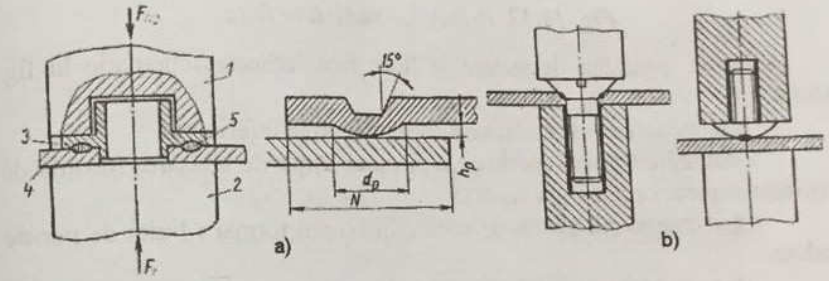


Fig. 16.12. Variante de sudare în relief: a – prin suprapunere; b – în formă de „T"

Prin sudare în relief a pieselor cu calități stabile pot fi executate îmbinări cu topirea metalului și fără topirea metalului. Îmbinările în puncte, ca regulă, se formează cu topirea metalului.

Pentru majoritatea îmbinărilor în „T" și cap la cap cu reliefuri circulare și profilate sunt frecvente procedeele de sudare și deformației plastice considerabile a metalului reliefului se creează învoieli favorabile pentru formarea îmbinărilor fără topire (în faza solidă) cu duritate stabilă.

16.5. Sudarea electrică prin presiune în linie

Sudarea în linie este un procedeu de sudare electrică prin presiune și conducție la care sudarea se produce între fețele a două (piese) componente așezate între rolele electrod prin care trece curentul electric.

Rolele electrod sunt antrenate în mișcarea de rotație cu un mecanism special. În procesul de sudare rolele de contact *1* și *2* (fig. 16.13) sunt racordate la secundarul transformatorului de sudare *3*.

Prin rotirea rolelor, componentele care urmează să fie sudate *4* și *5* sunt antrenate în mișcare de translație, ele sudându-se sub forma unor puncte distincte sau parțial suprapuse, formând o cusătură în linie etanșă.

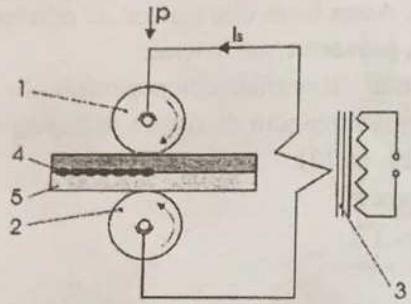


Fig. 16.13. Principiul sudării în linie

Fazele operaţiei de sudare în linie sunt indicate schematic în fig. 16.14:

- componentele de sudat sunt aşezate pe rola inferioară;
- coborârea rolei superioare, aplicarea forţei de apăsare, însoţită de deplasarea pieselor antrenate de role;
- conectarea curentului de sudare în scopul formării liniei de puncte sudate;
- deconectarea curentului, urmată de oprirea mişcării;
- ridicarea rolei superioare, piesele rămânând sprijinite pe rola inferioară staţionară.

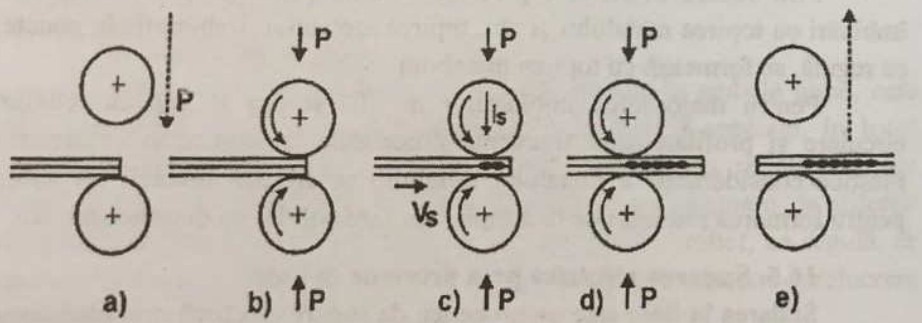


Fig. 16.14. Etapele sudării în linie

Sudarea în linie poate fi considerată o succesiune de puncte de sudură. În funcţie de regimul de sudare adoptat se pot obţine puncte distincte, tangente, parţial suprapuse, cusătură continuă (fig. 16.14 şi 16.15).

În industrie, pe larg, se utilizează tuburile metalice flexibile, confecţionate din bandă gofrată (încreţită) cu intervenţia sudării cu role într-o cusătură ermetică. Instalaţia de sudare (fig. 16.16, a) constituie o parte din utilajul tehnologic, în care banda metalică *6* de o lăţime stabilită se

profilează, trecând prin sistemul de role *5* şi se sudează în tub flexibil *1* cu suprapunere spirală în locul sudării. Rolele care strâng locul sudării cu forţa *F* nu au acţionare, dar se rotesc datorită frecării de tub, care se întoarce în procesul formării. Rolele au forma sferică a suprafeţei utile (fig.16.16, b). Raza sferei rolei inferioare *2* este mai mică, iar a rolei superioare *3* este mai mare decât raza suprapunerii bandei gofrate care se sudează. Cu aşa profil al rolelor se asigură suprafaţa necesară de contact a rolelor cu fabricatul (banda).

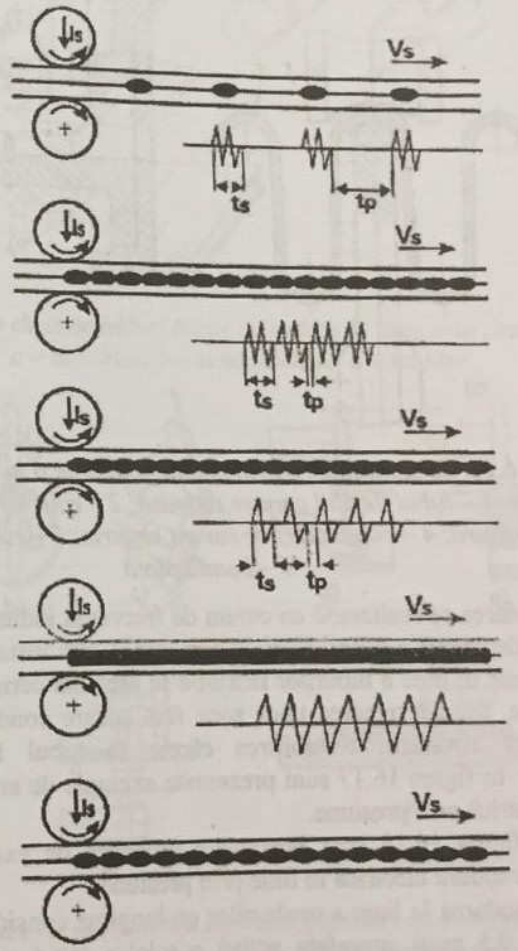


***Fig. 16.15.** Diferite forme de îmbinări în linie, în funcţie de regimul de sudare adoptat: puncte distanţate; puncte atinse; puncte suprapuse; cusătură etanşă fără întreruperea curentului; cusătură etanşă cu modularea curentului*

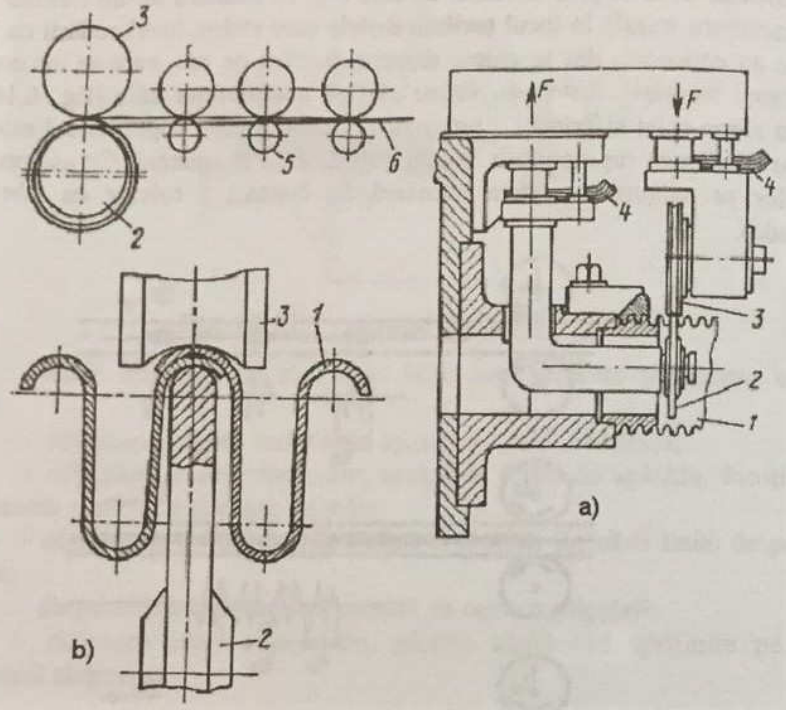


Fig. 16.16. *Schema sudării prin presiune în linie a tuburilor metalice flexibile: 1 – tubul flexibil care se sudează; 2 – rola inferioară; 3 – rola superioară; 4 – conductori de curent electric; 5 – role de formare; 6 – bandă plată*

Sudarea se realizează cu curent de frecvenţă industrială fără pauze la viteza de deplasare a benzii până la 4 m/min. Către instalaţia pentru sudare prin presiune în linie a tuburilor flexibile se prezintă cerinţe de stabilitate în funcţionare, fiindcă trecerea unor zone fără sudare conduce la perturbarea ermeticităţii cusăturii, restabilirea căreia în tubul flexibil finit este imposibilă. În figura 16.17 sunt prezentate exemple de ansambluri fixate cu sudare electrică prin presiune.

În figura 16.18 sunt prezentate procedee de executare a diferitor îmbinări cu sudură electrică în linie prin presiune.

La sudarea în linie a cusăturilor cu lungime considerabilă şi grosime mică (0,2...0,5 mm) suprafaţa activă a rolelor rapid se uzează, cauzând înrăutăţirea calităţii sudurii.

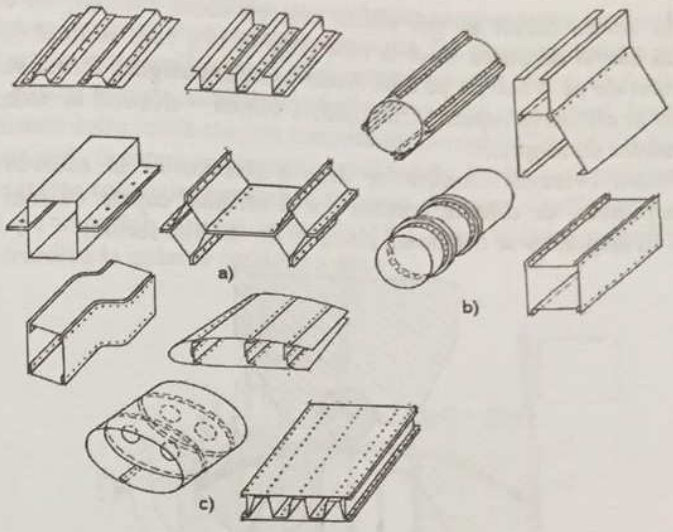


Fig. 16.17. *Exemple de ansambluri fixate cu sudare în linie prin presiune: a – deschise; b – semideschise; c – închise*

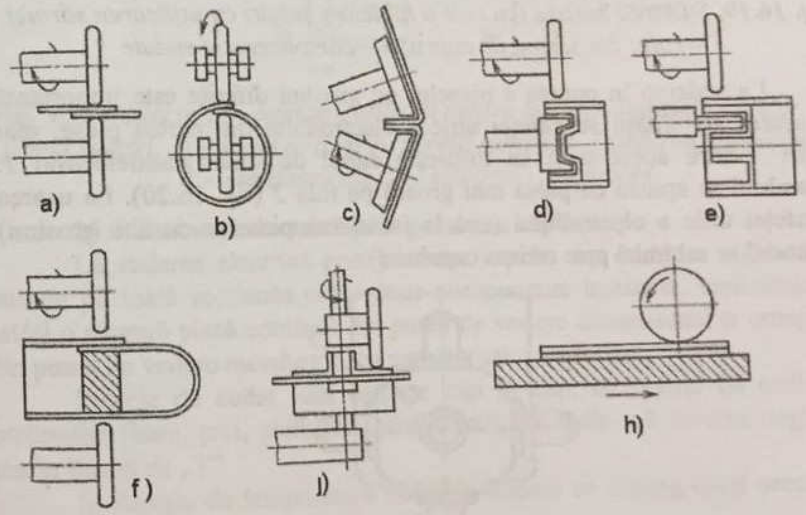


Fig. 16.18. *Procedee de executare a diferitor îmbinări cu sudarea electrică prin presiune în linie: a,b,c,f – cu două role din două părţi; d,e – cu rolă şi un dorn interior; j – cu o rolă care se roteşte în jurul axei sale şi axei cusăturii; h – cu componentele de sudat instalate pe o placă de cupru (staţionară sau mobilă), iar rola se roteşte în jurul axei sale şi se rostogoleşte pe suprafaţa piesei superioare*

În aceste cazuri se pot utiliza role cu canal circular, în care se instalează sârma de cupru trasă la rece (fig. 16.19), care se deplasează la rotirea rolei de pe o bobină pe alta. Acest procedeu asigură forma stabilă a suprafeţei şi utilizarea repetată (multiplă) a sârmei – electrod la sudarea cu role a pieselor cu acoperiri.

Pentru evitarea schimbărilor dese a electrozilor la sudarea pe o maşină a pieselor de diferite grosimi pot fi utilizate capete cu mai mulţi electrozi. În dispozitiv se instalează electrozi de diferite forme.

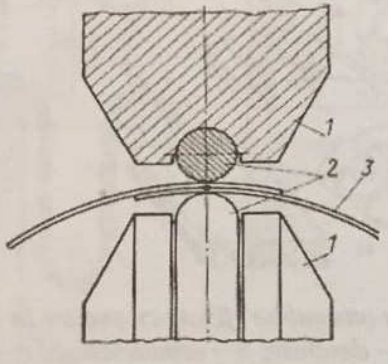


Fig. 16.19. *Sudarea în linie (cu role a tablelor) subţiri cu utilizarea sârmei: 1 – role; 2 – sârmă de cupru; 3 – componentele sudate*

La sudarea în puncte a pieselor cu grosimi diferite este importantă asigurarea stabilităţii suprafeţei utile a electrodului din partea piesei mai subţiri. Pentru acest scop se foloseşte capul de sudat multielectrod *1*. Ansamblul se aşează cu piesa mai groasă pe rola *2* (fig. 16.20). La uzarea suprafeţei utile a electrodului (sau la instalarea pieselor cu alte grosimi) electrodul se schimbă prin rotirea capului *1*).

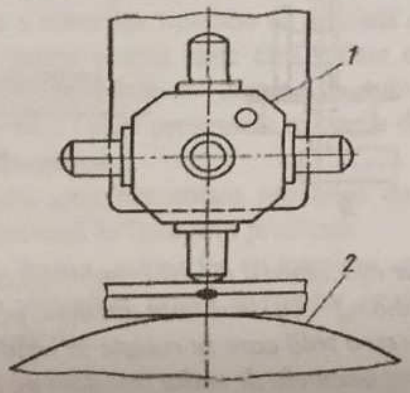


Fig. 16.20. *Cap cu electrozi pentru sudarea pieselor cu diferite grosimi: 1 – cap cu patru electrozi; 2 - rolă*

Uneori electrozii conduc curentul către componentele îmbinate, însă ei nu sînt legaţi nemijlocit cu maşina de sudat. De exemplu, trebuie de sudat cu cusătură longitudinală o ţeavă cu diametrul mic (10...40 mm) şi cu pereţii subţiri. Pentru aceasta semifabricatul din ţeava *1* cu o montură din cupru *2* se instalează între rolele maşinii transversale de sudat (fig. 16.21, a). În aşa fel se pot suda cusături cu lungimi considerabile. Pentru sudarea pieselor de forma cutiilor (mantale, capace) se folosesc electrozi – şabloane *2*, care se fixează pe suportul *3* ce se roteşte la 180° după sudarea primei cusături pentru trecerea la sudarea cusăturii a doua.

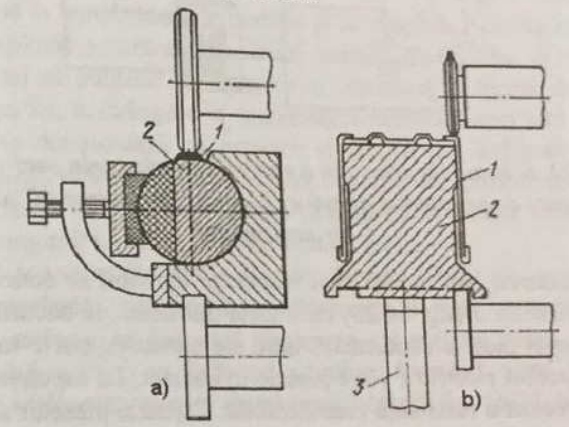


Fig. 16.21. *Electrozi – monturi, utilizaţi pentru sudarea semifabricatelor cu pereţi subţiri: a – sudarea ţevii cu pereţii subţiri; b – sudarea capacului: 1 – semifabricate; 2 – electrozi; 3 – suport*

16.6. Sudarea electrică prin presiune cap la cap

La sudarea electrică prin presiune cap la cap cusătura obţinută se întinde pe toată secţiunea celor două componente îmbinate, realizându-se astfel o singură piesă continuă din punct de vedere dimensional şi omogenă din punct de vedere metalurgic, cu caracteristici uniforme.

Piesele de sudat sunt dispuse cap la cap, de regulă cu axele în prelungire (bare, ţevi, platbenzi, profile etc), cu axele sub diverse unghiuri sau în formă de „T".

În funcţie de temperatura atinsă la sudare se disting două procedee de sudare electrică prin presiune cap la cap:

- sudarea cap la cap în stare solidă (prin rezistenţă) la care încălzirea se face (pe baza efectului Joule) prin rezistenţă;
- sudarea cap la cap cu topire intermediară (prin scânteiere) la care încălzirea capetelor în contact se realizează în urma unui proces de topire

intermediară progresivă, producându-se expulzări de metal în formă de scântei.

Componentele care urmează să fie sudate *2* (fig.16.22) sunt fixate în bacurile **1**, dintre care unul este fix, iar celălalt mobil ghidat de batiul maşinii de sudat.

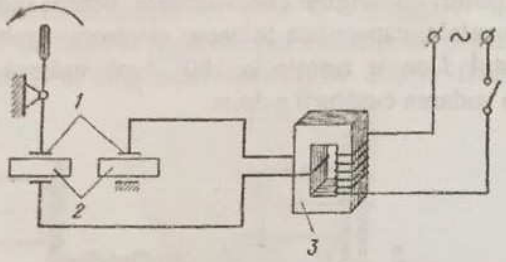


Fig. 16.22. *Schema de principiu a sudării electrice prin presiune cap la cap: 1 - bacuri de prindere a pieselor; 2 - piese care urmează să fie sudate; 3 – transformator*

La sudarea cap la cap prin rezistenţă curentul se conectează după strângerea pieselor *3* (fig. 16.23) cu o forţă transmisă de bacurile maşinii *1* şi *2*. La început piesele contactează între ele numai cu unele rugozităţi. Se transmite curentul electric *1* către piesele în contact. La capetele pieselor în contact se creează o rezistenţă considerabilă. Capetele pieselor se încălzesc. Lăţirea rugozităţilor capetelor sub acţiunea forţelor axiale şi încălzirii intensive conduce la scăderea rapidă a rezistenţei în contact. În continuare încălzirea pieselor se realizează de rezistenţa componentelor sudate care avansează cu majorarea temperaturii. Când temperatura în zona de contact se apropie de temperatura de topire a metalului, metalul sub acţiunea forţei axiale (de strângere a componentelor sudate) se recristalizează, realizând sudura cu formarea îngroşării lente a capetelor sudate (fig. 16.23, b).

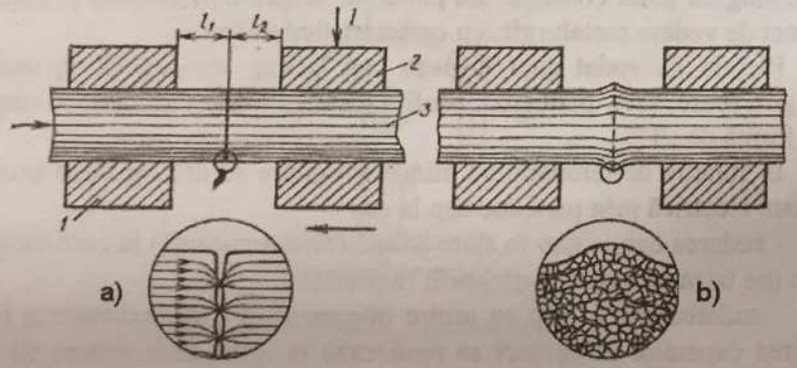


Fig. 16.23. *Schema procesului de sudare cap la cap prin rezistenţă*

La sudarea cap la cap cu topire intermediară, încălzirea pieselor până la topirea metalului se realizează sub acţiunea unei forţe axiale neînsemnate. După aceasta piesele se strâng rapid cu o forţă axială – refularea, care realizează îmbinarea sudată.

Sudarea se realizează în următoarea ordine. Piesele strânse în dispozitive, la care se transmite tensiune, lent se deplasează axial una spre alta până la atingerea capetelor. Ca consecinţă a suprafeţelor iniţiale de contact neînsemnate, densitatea de curent în locul atingerii capetelor pieselor este aşa de mare, că metalul, în locul contactului momentan se încălzeşte pînă la temperatura de fierbere şi se evaporă. Aceasta se însoţeşte de o mică explozie a contactelor – punţi unitare. Ca rezultat al exploziei o parte de metal al punţilor se aruncă din îmbinare în formă de stropi şi scântei. În aşa fel, la strângere în continuare a capetelor apar alte contacte – punţi, care se deteriorează cu explozii şi aruncă din îmbinare particule, vapori de metal, scântei cu formarea la capetele componentelor sudate al unui strat uniform de metal topit (fig. 16.24, a). Acest proces, se însoţeşte de micşorarea lungimii iniţiale a pieselor numită topire – Δ.

După scurtarea stabilită a pieselor datorită topirii ele se strâng rapid cu o forţă crescândă – refulare. La refulare metalul topit cu oxizi se stoarce din joanta pieselor şi se formează îmbinarea, iar metalul zonei, apropiat de joantă, se deformează cu îndoirea spirelor, formând nişte înălţări sau supraînălţări inelare din oxizi şi metal supraîncălzit (fig. 16.24, b).

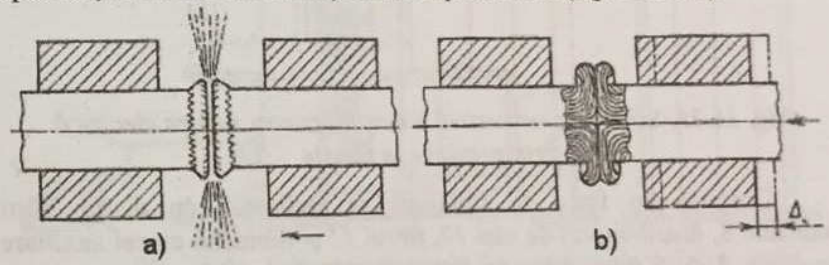


Fig. 16.24. *Scheme ale procesului de sudare cap la cap cu topirea intermediară a capetelor*

16.7. Maşini pentru sudarea electrică prin presiune

Pentru sudarea electrică prin presiune mai mare răspândire au căpătat maşinile pentru sudarea în puncte (mai bine de 70% din totalul maşinilor). Din ele mai multe sunt maşinile de curent alternativ radiale, cu acţionarea electrodului superior şi consola electrodului până la 500 mm.

Maşina electrică de sudat prin presiune în puncte KT – 1818 este compusă din carcasa sudată *1* (fig. 16.25) la care cu şuruburi este fixat suportul *2*, care poartă consola *3* cu portelectrod şi electrodul inferior.

Consola *3* se poate deplasa orizontal în limitele stabilite faţă de suportul *2*. Suportul *2* se poate regla vertical. Suportul superior *5* este fixat de carcasă prin sudură. Acţionarea pneumatică *7* cu ghidajele *6* sunt fixate pe suportul superior cu şuruburi. Pe glisieră este fixată consola superioară *4* cu portelectrodul şi electrod.

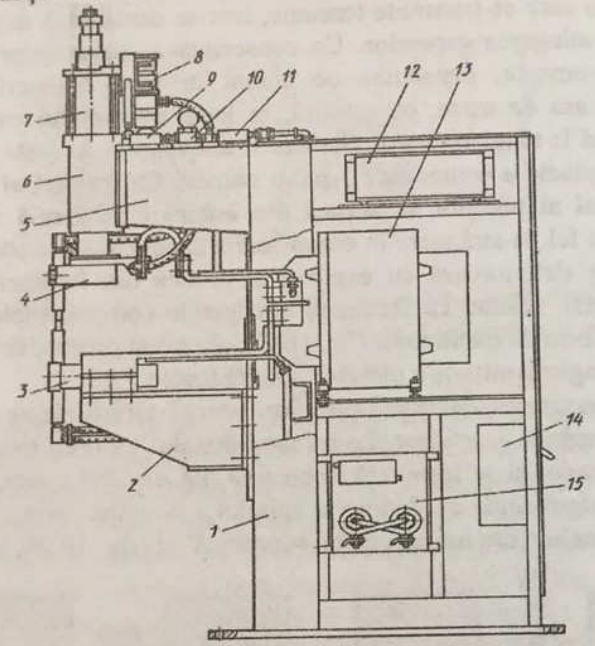


Fig. 16.25. *Schema constructivă a maşinii pentru sudare electrică prin presiune în puncte*

Dirijarea cu forţa de strângere se realizează cu distribuitorul pneumatic 8, distribuitorul de ulei *10*, filtrul *11* şi robinetul cursei auxiliare. Consolele *3* şi *4* sunt unite cu ieşirile bobinei transformatorului *13* cu conducte de curent.

Transformatorul *13*, butonul de contact *14* şi comutatorul treptelor sunt instalate în carcasa maşinii. Dirijarea cu maşina se realizează cu reglorul ciclului de sudare *12*. Conectarea şi deconectarea curentului primar (şi secundar) se realizează cu contactorul *15*.

Maşina electrică de sudat în linie prin presiune MŞ – 2201 (fig. 16.26) este compusă din carcasă, suporţii superior şi inferior, pe care sunt instalate acţionarea forţei *5*, capetele cu role superior *4* şi inferior *3*. Pentru realizarea cusăturilor longitudinale capul cu role superior se roteşte la 90°, iar cel inferior pentru sudarea transversală se schimbă cu montura *2* pentru sudarea longitudinală. Rotirea rolei superioare se transmite de la motorul

electric *8* cu variatorul fără trepte prin reductorul *7* şi arborele articulat **6**. Sub acţionare este instalat regulatorul *10* de turaţii a rolelor.

În carcasa maşinii sunt instalate mecanismele: acţionarea pneumatică *9*, transformatorul *12*, întrerupătorul *11*, comutatorul treptelor *13*, contactorul *14*. Transformatorul, conductele de curent electric, tiristorii au răcire interioară cu apă, iar rolele – răcire exterioară cu apă. Maşina este dirijată de la pedala *1*.

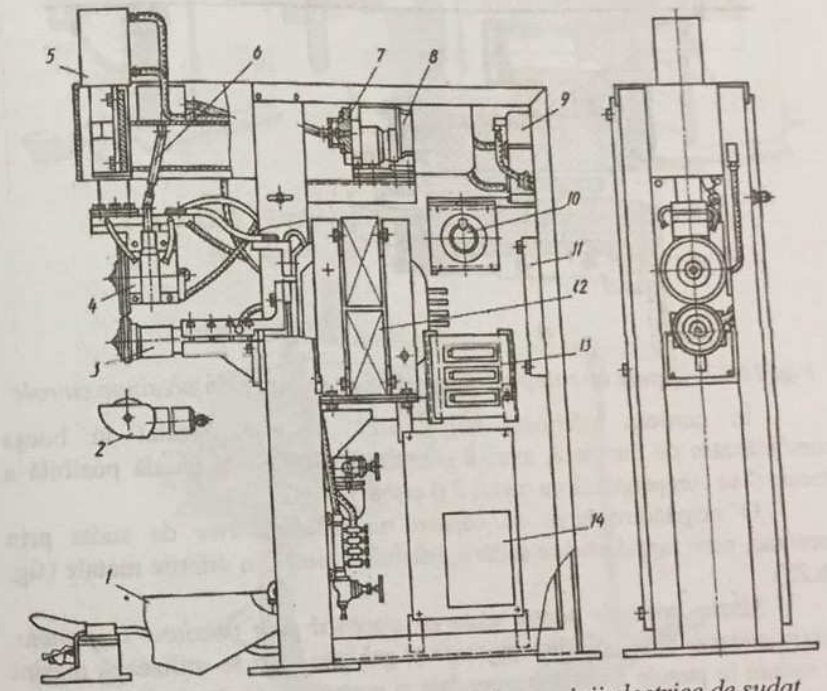


Fig. 16.26. *Schema constructivă a maşinii electrice de sudat prin presiune în linie MŞ – 2201*

Capete cu role pentru maşinile de sudare electrică prin presiune în linie. În carcasa capului superior sunt instalate două perechi de roţi dinţate conice *6* şi *9* şi o pereche de roţi dinţate cilindrice *10* şi *11* (fig. 16.27, a), care acţionează în mişcare de rotaţie rola *12*.

Alimentarea cu curent electric se realizează prin conductorul *5* prin carcasa de cupru *4*, bucşa *1* şi arborele *2* pe care este instalată rola *12*. Deplasarea axială a arborelui *2* în bucşa *1* se compensează cu şaiba *3* şi garnitura *13*. Între arborele *2* şi bucşa *1* se introduce lubrifiant de grafit, care micşorează şi stabilizează rezistenţa contactului mobil.

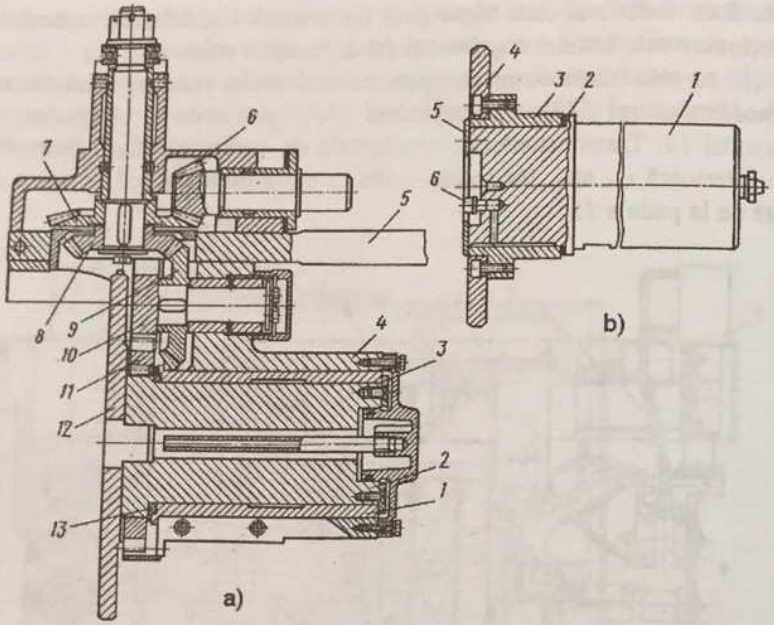


Fig. 16.27. Capete cu role pentru maşinile de sudare prin presiune cu role

În consola inferioară (fig. 16.27, b) este instalat în bucşa conducătoare de curent *3*, axul *2* cu rola *4*. Deplasarea axială posibilă a bucşei *3* se compensează cu inelul *2* şi şaiba *5*.

O răspândire largă au căpătat maşinile electrice de sudat prin presiune, care sunt destinate sudării diferitelor piese din diferite metale (fig. 16.28).

Maşini speciale pentru sudarea electrică prin presiune în puncte. Pentru sudarea ansamblurilor cu mase şi gabarite mari se utilizează maşini de sudare în puncte mobile (suspendate şi portative). O răspândire largă au căpătat maşinile suspendate pentru sudarea cu curent alternativ a ansamblurilor automobilelor, tractoarelor, maşinilor agricole, armaturii în construcţiile de oţel – beton ş.a. Maşinile suspendate de sudat în puncte pot fi cu transformator aparte şi cu transformator suspendat.

Maşina cu transformator aparte include în construcţia sa cablul flexibil şi scula de lucru (pistol, cleşte), acţionarea pneumatică sau pneumohidraulică, contactorul şi aparatura de comandă.

În maşina MTP – 1110 (fig. 16.29), cleştele de sudare se unesc cu transformatorul suspendat cu două cabluri, care constau din conductori flexibili din cupru, introduşi într-un tub izolator. La capetele fiecărui cablu sînt fixate capete pentru conectarea la transformator şi elementelor conducătoare de curent ale cleştilor.

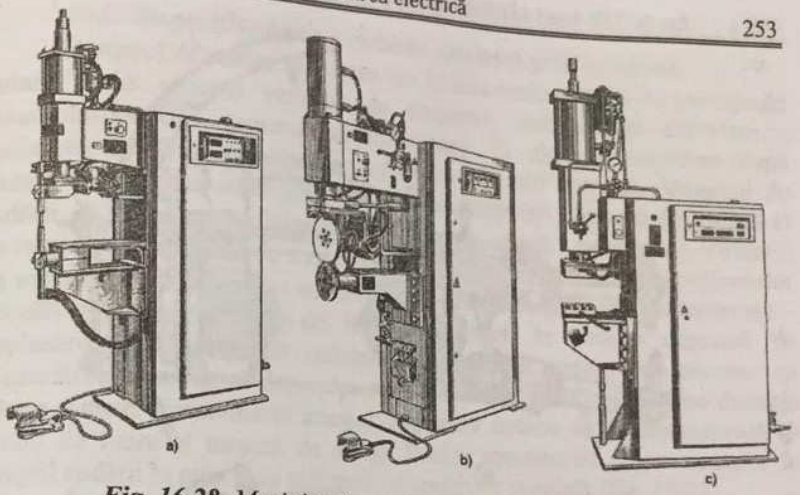


***Fig. 16.28.** Maşini universale pentru sudarea electrică a – în puncte; b – în linie; c- în relief*

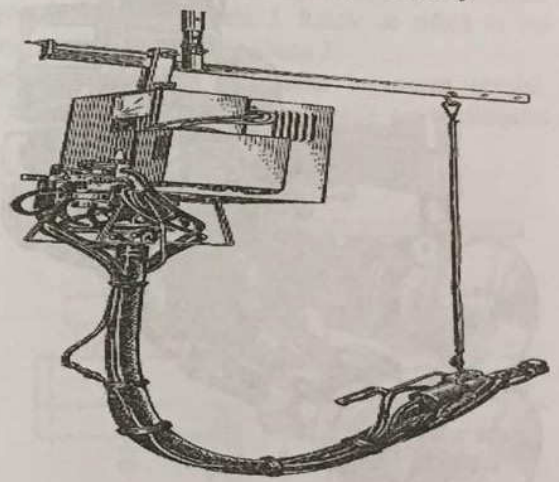


***Fig. 16.29.** Maşina suspendată cu transformator aparte pentru sudarea electrică în puncte*

Pe transformator este instalat panoul pentru dirijarea cu aparatura pneumatică şi cu aparatura de reglare a ciclului de lucru.

Maşinile pentru sudarea electrică prin presiune cu transformator incorporat pot avea acţionare manuală, pneumatică sau hidraulică a forţei de strângere. Maşina de sudare în puncte cu transformator incorporat (fig. 16.30, a) constă din transformatorul *5*, pe carcasa căruia este fixată acţionarea cu arcul *2* a forţei cu piuliţă de reglat *3*.

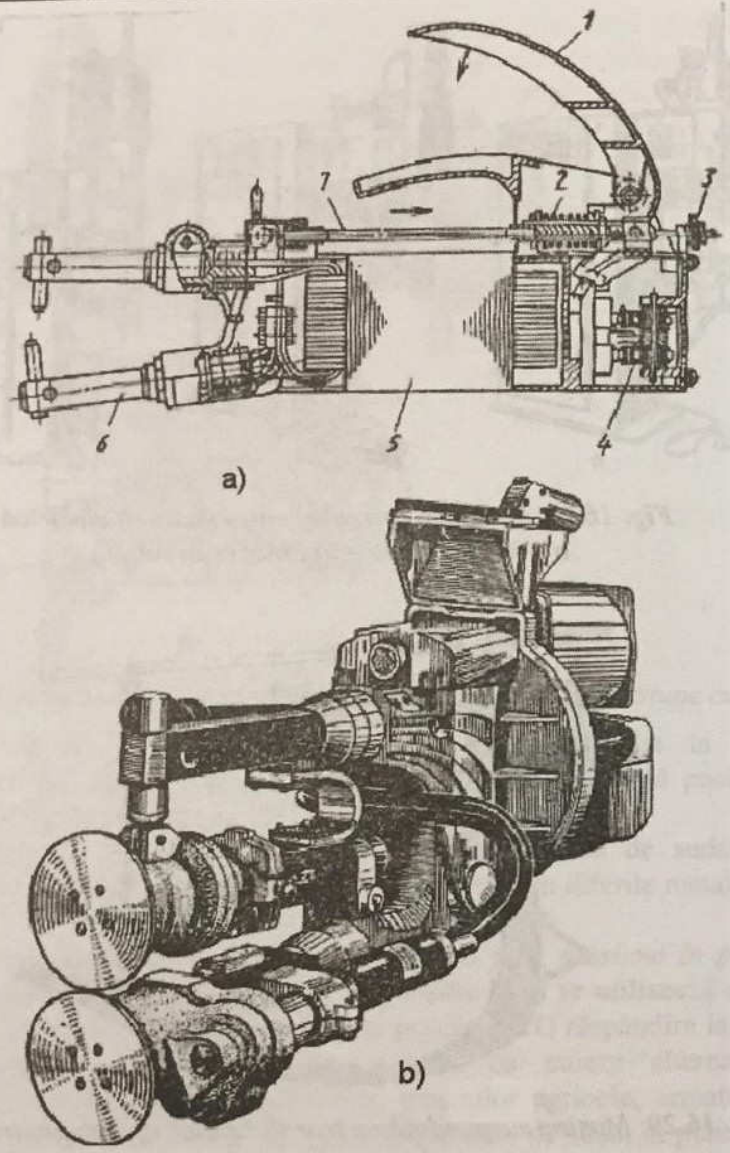


Fig. 16.30. *Maşini suspendate cu transformator incorporat: a – pentru sudarea în puncte; b – pentru sudare în linie*

Acţionarea prin tija *7* deplasează consola mobilă *6*. Forţa se aplică manual cu maneta *1*. La console sunt uniţi conductorii, care transmit curentul de la transformatorul *5*. Curentul se cuplează la apăsarea manetei *1* cu închiderea contactelor *4* unite cu blocul de comandă. Asemenea maşini se folosesc şi pentru sudarea în linie (fig. 16.30, b).

16.8. Dispozitive pentru sudarea electrică prin presiune

Procesul de sudare în puncte sau în linie include afară de operaţia de sudare multe operaţii auxiliare de susţinere, strângere şi deplasare a ansamblurilor care urmează să fie sudate. În maşinile moderne după realizarea comenzii operaţia de sudare se execută automat. Volumul de muncă a operaţiilor auxiliare depăşeşte considerabil volumul de muncă al sudării, ce micşorează eficienţa tehnico – economică a procesului. Volumul de muncă al procesului de sudare poate fi micşorat cu utilizarea mijloacelor de mecanizare a proceselor auxiliare: folosirea mecanismelor de încărcare – descărcare, dispozitivelor de instalare, fixare în poziţia necesară de deplasare a componentelor sudate. La sudarea în puncte este necesar, ca dispozitivul automat să deplaseze componentele la un pas egal cu distanţa dintre puncte. Funcţionarea acestui dispozitiv trebuie să fie sincronizată cu ciclul de lucru al maşinii de sudat. Pentru menţinerea componentelor în timpul sudării în puncte se utilizează dispozitive speciale (fig. 16.31).

În poziţia iniţială când electrodul superior este ridicat, componentele de sudat *6* de asemenea se ridică deasupra electrodului inferior cu 3...5 mm şi pot fi uşor deplasate pe rolele *5*. Rolele se ridică în sus cu ajutorul camerelor pneumatice *3* instalate pe baza *2*.

Camerele pneumatice sunt unite la ieşirea aerului din supapa pneumatică a maşinii de sudat, care transmite aer la ridicarea electrodului superior.

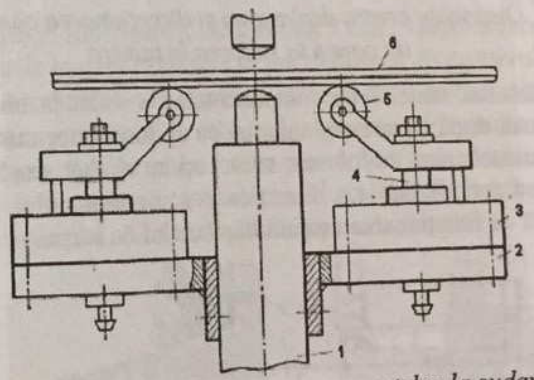


Fig. 16.31. *Dispozitiv de susţinere a componentelor la sudarea în puncte*

Tijele *4* sunt dotate cu furci pe care sunt instalate rolele *5*. La transmiterea comenzii de începere a sudării, supapa maşinii de sudat, comută aerul la lăsarea în jos a rolelor şi strângerea electrozilor, eliberând aerul din camerele pneumatice *3*.

Sub acţiunea arcurilor din camerele pneumatice, tijele *4* se deplasează în jos împreună cu rolele, iar componentele de sudat se aşează pe electrodul inferior *1*. Ciclul de ridicare şi coborâre a componentelor de sudat se realizează automat şi este sincronizat cu lucrul maşinii de sudat.

La sudarea în puncte a cusăturilor lungi ale ansamblurilor de tip panou se utilizează dispozitive (fig. 16.32), care prezintă o ramă mobilă *1* pe care se instalează componentele de sudat. Rama cu componentele de sudat se deplasează pe rolele *2* ale căruciorului *3* perpendicular consolei *7* a maşinii de sudat. Căruciorul se deplasează în lungul consolei maşinii pe rolele *4* ale mesei *5*. Astfel, componentele sudate se pot deplasa precum la un pas, aşa şi la un rând. Pentru ca componentele sudate la deplasare să nu se roadă de electrodul inferior al maşinii, masa *5*, după ridicarea electrodului superior, se ridică cu ajutorul camerelor pneumatice *6*.

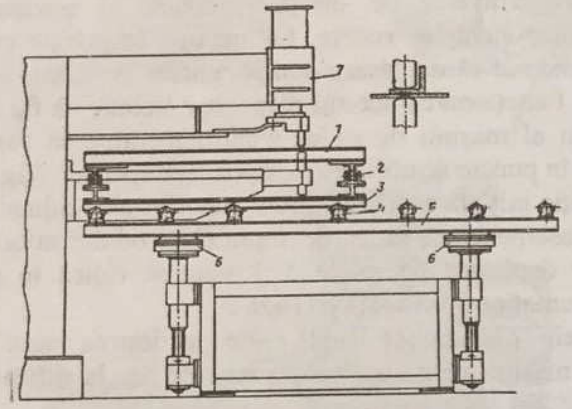


Fig. 16.32. *Dispozitiv pentru deplasarea şi direcţionarea componentelor de tip panou la sudarea în puncte*

Deplasarea ramei *1* cu componentele de sudat la un pas se poate realiza manual, după trasare sau automat cu ajutorul unor mecanisme pas cu pas. Mecanismele care se folosesc sunt: roţi cu clichet, cuplaje magnetice, cremaliere cu roţi dinţate ş.a. Funcţionarea mecanismului pas cu pas se sincronizează cu funcţionarea maşinii după ciclul de lucru.

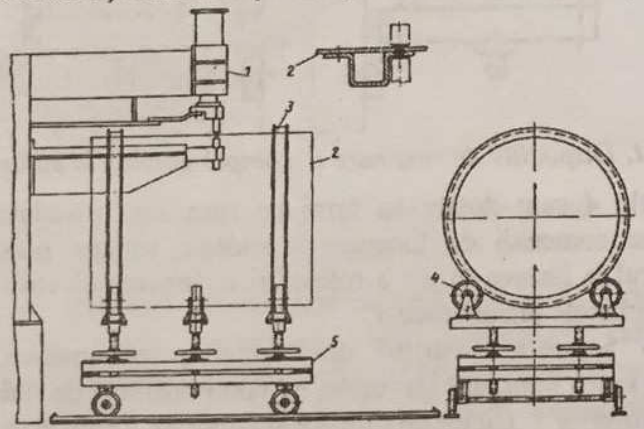


Fig. 16.33. *Instalaţie pentru sudarea în puncte a virolelor cu diametrul mare*

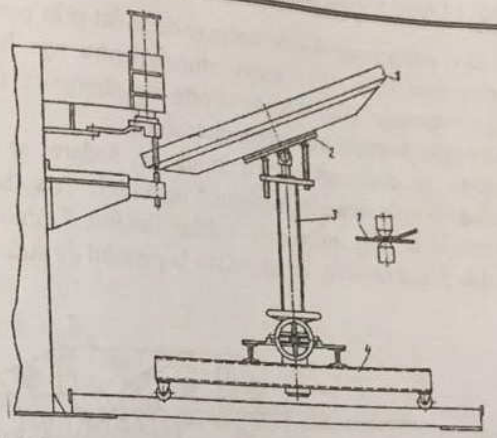


Fig. 16.34. *Dispozitiv pentru sudarea cusăturilor circulare în puncte*

Sudarea virolelor pentru cazane cu diametre mari se efectuează cu instalaţia prezentată în figura 16.33. Maşina de sudat *1* se ridică de la suprafaţa podelelor. Virola *2* se fixează în inele *3*, care se rostogolesc pe rolele *4*, instalate pe căruciorul *5*. Căruciorul se deplasează în lungul consolei maşinii pe cale ferată, instalată pe podele. La necesitate rotirea virolei *2* şi deplasarea axială se poate executa cu diferite mecanisme pas cu pas. Ridicarea virolei deasupra electrodului inferior la rotirea ei se poate realiza prin ridicarea părţii superioare a căruciorului *5* asupra părţii inferioare.

Cusăturile inelare în puncte se pot realiza cu dispozitivul prezentat în figura 16.34. Ansamblul care urmează să fie sudat *1* se fixează pe planşaiba *2*, care se poate roti şi înclina sub unghiul necesar. Planşaiba este instalată pe suportul şurub *3* şi se poate ridica sau coborî împreună cu ansamblul, care urmează să fie sudat, faţă de electrozii maşinii. Suportul – şurub **3** este instalat pe căruciorul *4*, care se deplasează pe cale ferată.

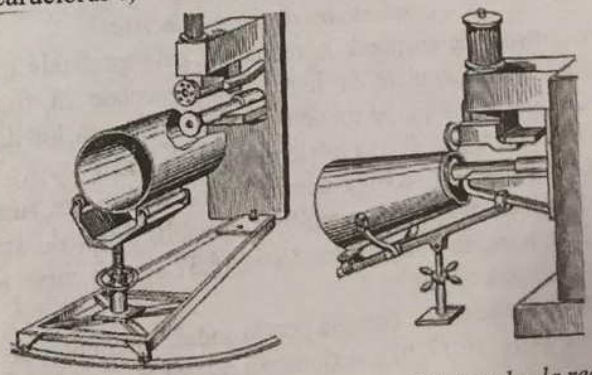


Fig. 16.35. *Dispozitive de susţinere a semifabricatelor la realizarea cusăturilor circulare pe suprafeţele cilindrice şi conice*

Dacă la o piesă masivă este necesar de sudat prin puncte nişte plăci subţiri (cu grosimea 0,05...0,15 mm), atunci pentru aşa îmbinări se pot utiliza pistoale manuale (fig. 16.36). Forţa de strângere (axială) la aşa pistoale se transmite de către mâna muncitorului.

Comanda la conectarea curentului de sudare se transmite de microîntrerupător la apăsarea electrodului *5* pe piesele de sudat şi strângerea arcului *2*. Curentul se transmite prin cablul flexibil *7*, unul din capetele căruia este unit la piesa masivă, iar al doilea la pistolul de sudat.

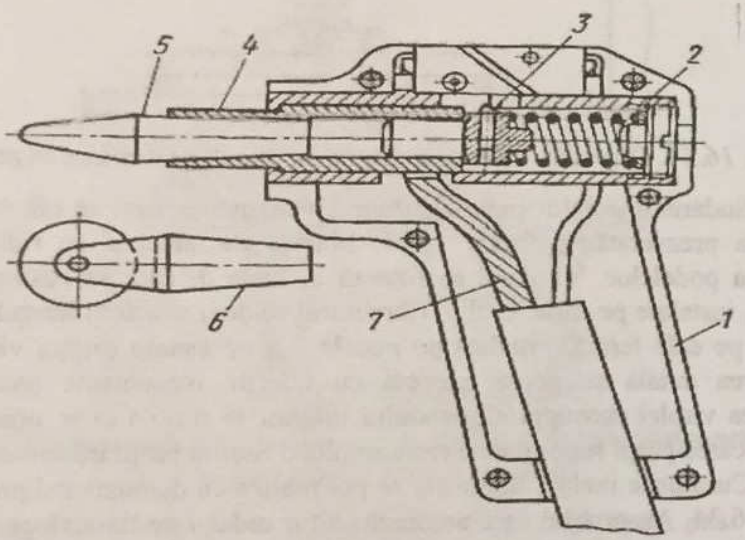


Fig. 16.36. *Pistol manual pentru sudarea în puncte şi în linie a pieselor subţiri cu piese masive: 1 – carcasă; 2 – arc; 3 – microîntrerupător; 4 – portelectrod; 5 – electrod pentru sudare în puncte; 6 – montură cu rolă; 7 – conductoare de curent electric*

Dispozitivele de susţinere la realizarea pe suprafeţele cilindrice şi conice a cusăturilor circulare în linie sunt prezentate în figura 16.35. Ansamblurile liber se rotesc pe rolele de susţinere iar axa lor de rotaţie se poate schimba manual faţă de axa rolelor maşinii de sudat.

Pentru apucarea şi sudarea ansamblurilor complicate sunt necesare cleşte cu role şi cu electrozi punctiformi speciali. Forţa de strângere se asigură de la acţionarea pneumatică *2* (fig.16.37,a), iar cursa auxiliară a consolelor se reglează cu piuliţa *3*.

La necesitate în loc de consolă pentru sudarea în puncte se instalează console cu role *4* (fig. 16.37, b) şi acţionare a rolelor *5*.

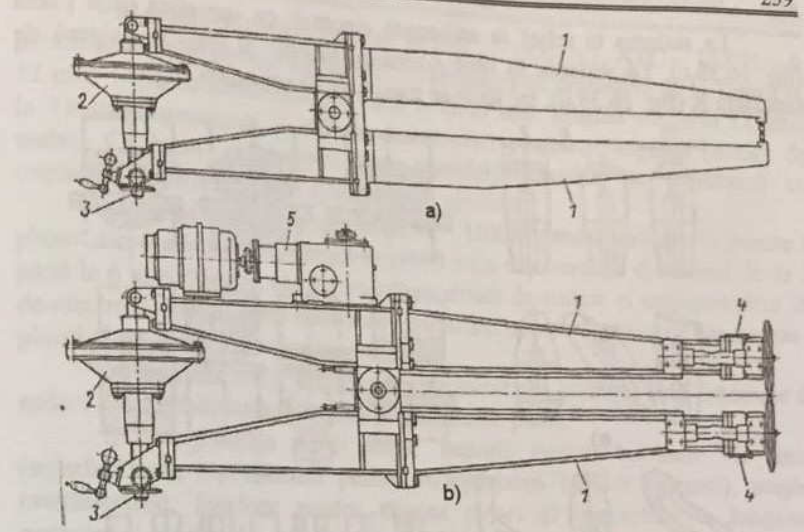


Fig. 16.37. *Cleşte pentru strângerea şi sudarea ansamblurilor mari: a – în puncte; b – în linie*

16.9. Electrozi pentru sudarea electrică prin presiune

Electrozii şi rolele sunt scule, care asigură contactul nemijlocit al maşinii cu piesele care urmează să fie sudate. Electrozii în procesul de sudare în puncte sau pe linie realizează următoarele funcţii: strâng componentele care urmează să fie sudate; transmit curentul electric; evacuează căldura, care se elimină în timpul sudării şi deplasează componentele (la sudarea cu role).

La sudarea în puncte şi în linie electrozii se încălzesc (pînă la 750°C) datorită căldurii, care se degajă nemijlocit în ei la trecerea curentului şi din contul transmiterii curentului de la componentele sudate.

Metalul pentru confecţionarea electrozilor trebuie să fie rezistent la temperaturi avansate, să aibă conductibilitate de curent înaltă şi conductibilitate de căldură.

Electrozii pentru sudarea în puncte se confecţionează din bronz de cadmiu, bronz de crom, bronz de cadmiu şi crom ş.a.

În dependenţă de construcţie electrozii pentru sudarea în puncte se împart în electrozi drepţi (fig. 16.38, a) şi electrozi fasonaţi (fig. 16.38, b).

Electrozii drepţi se utilizează pentru sudarea ansamblurilor simple cu liber acces în zona de sudare.

Electrozi fasonaţi sunt mai complicaţi şi mai costisitori şi se folosesc în cazurile cînd sudarea fără ei este imposibilă.

La sudarea în relief se utilizează electrozi cu suprafaţa utilă plană (fig. 16.38,c). La sudarea în linie contactul electric al rolei se asigură de suprafaţa A (fig. 16.38,d), iar forţa se transmite de suprafaţa B.

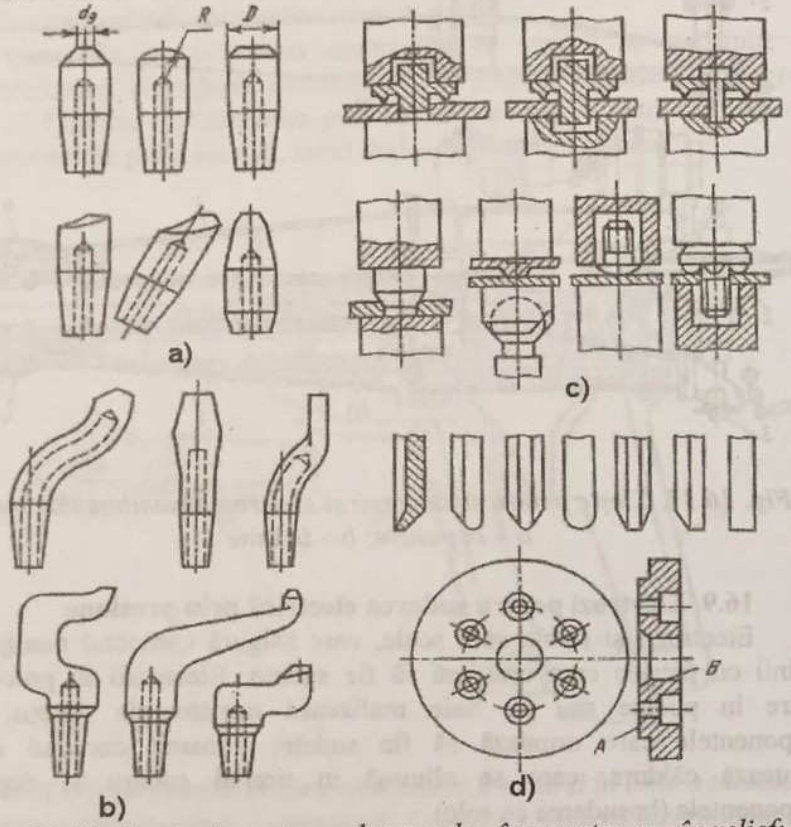


Fig. 16.38. Electrozi pentru sudare: a, b – în puncte; c – în relief; d - în linie

16.10. Sudarea semiautomată prin presiune pe maşini electrice speciale

Maşinile de sudat multipuncte se utilizează în complexe cu alte instalaţii pentru fabricarea semiautomată şi automată a plaselor şi carcaselor din armătură. Ele sunt analogice cu maşinile de sudat în puncte şi se deosebesc de ele prin numărul de transformatoare de sudare şi prin dimensiunile de gabarit.

La maşinile de sudat multipuncte se atribuie:

- Maşinile MT – 603 şi MTM – 09 pentru confecţionarea carcaselor plane din armătură cu diametrul pînă la 10 mm cu un număr de armături longitudinale de la 2 până la 6, cu pasul armaturilor transversale de la 20 până la 400 şi lăţimea carcaselor până la 770 mm.

- Maşinile automate de tipul MTMC – 14X75-7, ATC – 14X75 – 9 pentru sudarea în puncte a plaselor din armatură cu diametrul de la 3 până la 12 mm. Lăţimea plasei poate fi până la 2000 mm. Maşina are de la 12 până la 18 transformatoare şi cilindri pneumatici pentru strângerea barelor de sudat. Cuplarea şi deconectarea transformatoarelor se realizează cu contactor de către aparatul electronic de ajustare.

- Maşina semiautomată MTCM – 10X35 pentru sudarea în puncte a plasei din armătură cu lăţimea de 2000 mm din bare cu diametrul de la 3 până la 6 mm. Maşina are 10 transformatoare de sudare şi corespunzător 20 de electrozi. Maşina este dotată cu mecanism pentru deplasarea pas cu pas a plasei şi de avans a barelor transversale.

În baza maşinilor multipuncte de sudat sau elaborat linii automate de sudare pentru fabricarea plaselor şi carcaselor plane.

În componenţa liniei întră: suporţi pentru bobinele cu sîrmă (semifabricat), mecanismul pentru îndepărtarea barelor (sârmei), maşina multielectrod, foarfece pentru tăierea plasei şi carcaselor la lungimea necesară şi maşina de ambalat (fig. 16.39).

Productivitatea liniilor automate de sudare depinde de lungimea plasei şi carcasei, pasul barelor transversale şi tipul maşinii multipunct.

Pentru confecţionarea carcaselor spaţiale se utilizează maşini de sudat specializate, care realizează simultan înfăşurarea şi avansul armăturii şi sudarea ei cu electrozi role.

La uzinele specializate funcţionează maşini pentru fabricarea carcaselor pentru ţevi, reazeme, inele, traverse de beton, piloni ş.a.

O răspândire largă au căpătat maşinile suspendate pentru îmbinarea electrică prin presiune a carcaselor din armatură la instalaţii speciale.

Aceste instalaţii constau din maşini suspendate cu cleşte de sudat şi conductori mobili pentru montarea carcaselor. Instalaţiile au următoarele modificări:

- instalaţii verticale de tipul 7207/2CA pentru sudarea simultană a două carcase din armătură (din fiecare parte câte una). Instalaţia este dotată cu conductor mobil, care se deplasează după necesitate şi permite sudorului să lucreze cu cleştele de sudat în poziţie comodă pentru el;

- instalaţii verticale de tipul 7370CA pentru montarea şi sudarea unei carcase;

- instalaţii orizontale 7207/1CA pentru montarea şi sudarea carcaselor spaţiale pe conductor orizontal rotativ (fig. 16.40).

Instalaţiile permit sudarea plasei şi carcasei cu lungimea de la 3 până la 6 m şi lăţimea de la 3,5 până la 4 m, asigurând o productivitate înaltă.

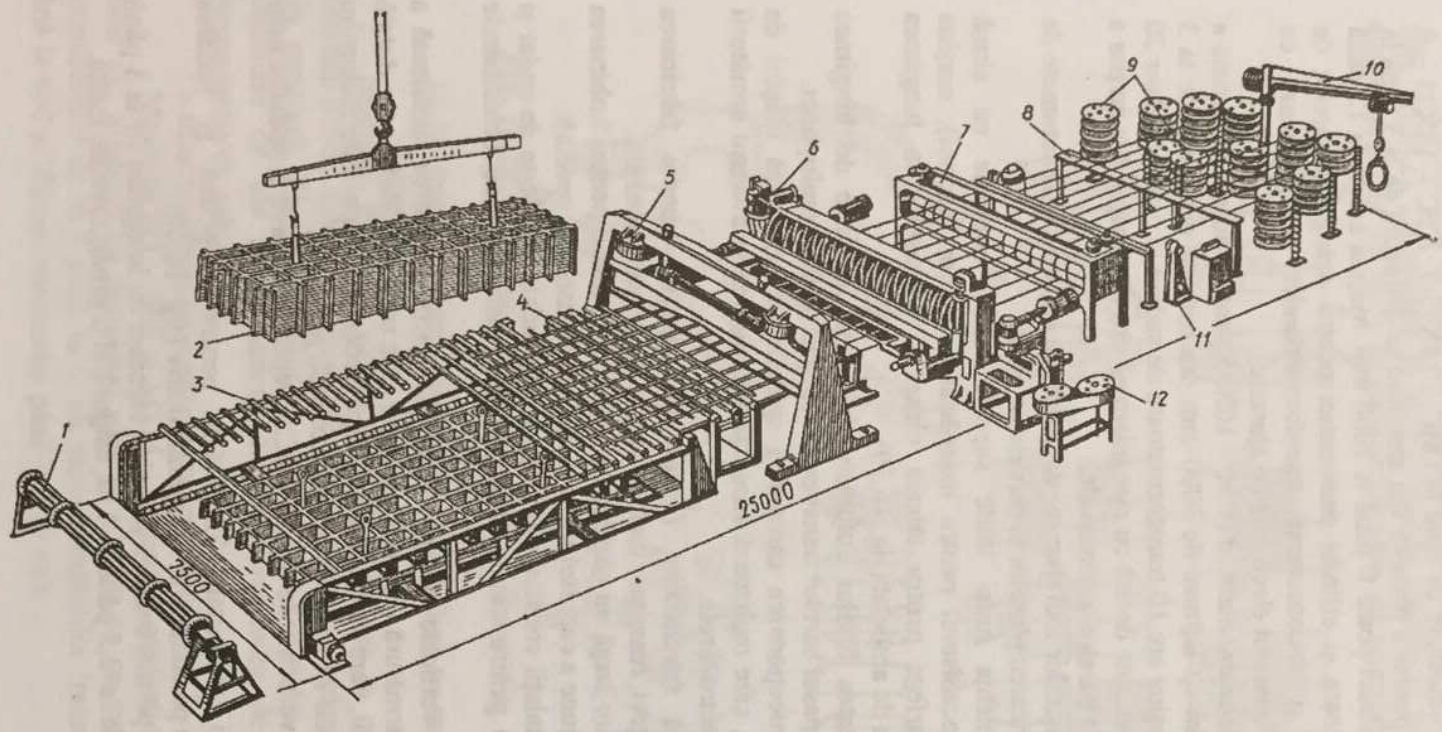


Fig. 16.39. *Linia tehnologică pentru fabricarea pieselor la maşina de sudat multielectrod: 1 – instalaţie de înfăşurare a sârmei în rulou (sul); 2 – container cu plase finite; 3 – maşină de împachetat; 4 – separator; 5 – foarfece pentru tăierea transversală a plasei; 6 – maşina de sudat multielectrod; 7 – maşină pentru instalarea barelor cap la cap; 8 – maşină de îndreptat barele; 9 – magazin cu bobine de sârmă (bare); 10 – macara; 11 - tocilă electrică; 12 – mecanism pentru alimentarea cu bare transversale*

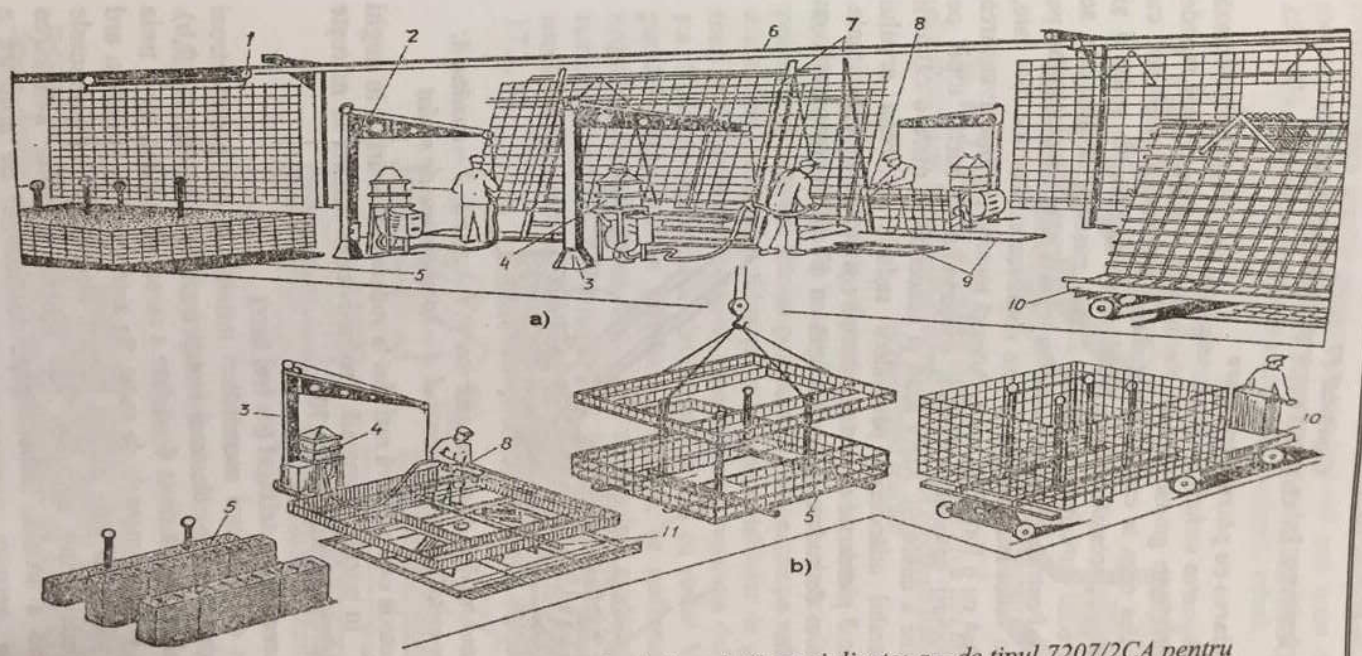


Fig. 16.40. *Scheme de sudare ale carcaselor la instalaţii specializate: a – de tipul 7207/2CA pentru asamblarea verticală a panourilor pereţilor interiori; b – de tipul 7207/1CA pentru asamblarea carcaselor panourilor pereţilor exteriori: 1 – cărucior suspendat pentru transportarea carcaselor finite; 2 – consolă pentru suspendarea cleştelor de sudare; 3 – suport; 4 – maşină de sudat cu transformator; 5 – carcase finite; 6 – monoşină; 7 – conductor vertical; 8 – cleşte de sudare; 9 – canale; 10– cărucior pentru transportarea carcaselor; 11 – conductor rotativ orizontal*

Capitolul 17
PROCEDEE ÎNALT PRODUCTIVE DE SUDARE

17.1. Sudarea cu pătrundere mare

Pentru obţinerea sudurii cu pătrundere mare (fig. 17.1) se utilizează electrozi *4* cu învelişuri groase. Miezul electrodului se topeşte mai repede decât învelişul, dea ceea la capătul electrodului se formează o „*husă*" cu metal topit. Apăsând această husă în rostul componentelor de sudat *5* şi deplasând electrodul în lungul cusăturii *2* fără mişcări transversale se realizează sudura. Pentru obţinerea cusăturilor înguste se apasă electrodul pe componentele de sudat mai tare, iar pentru obţinerea cusăturilor mai late, electrodul se apasă cu o forţă mai mică. Această metodă permite avansarea productivităţii sudurii datorită micşorării consumului de metal topit pe unitate de lungime a cusăturii. Arcul scurt şi concentrarea mare a căldurii măreşte considerabil adâncimea pătrunderii sudurii. În zona arcului acoperită cu husa *3* pierderile de metal la stropire şi ardere sunt minimale. Valoarea curentului de sudare poate fi mărită cu 40...60% comparativ cu valoarea nominală.

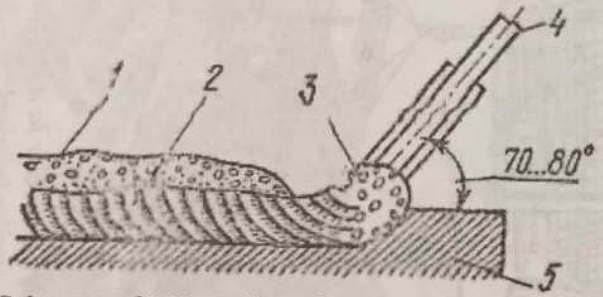


Fig. 17.1. *Schema sudării cu pătrundere mare: 1 – zgură; 2 – cusătură; 3 – husă cu metal topit; 4 – electrod; 5 – componente de sudat*

Această metodă este efectivă mai ales la sudarea îmbinărilor în unghi şi în formă de „T" în poziţie orizontală. Productivitatea sudării se măreşte comparativ cu sudarea obişnuită cu 50..70%.

17.2. Sudarea cu arc trifazat (cu trei faze)

Sudarea cu doi electrozi asemănători instalaţi în doi portelectrozi (fig. 17.2,a) şi sudarea cu doi electrozi izolaţi unul de altul (fig. 17.2,b). Portelectrodul se alimentează de la două faze a sursei de curent, iar a treia fază se racordează la componentele de sudat. Se amorsează şi simultan ard trei arce electrice: câte unul între capătul fiecărui electrod şi componentele de sudat şi al treilea între electrozi. Aşa schemă permite avansarea stabilităţii de ardere a arcului, îmbunătăţeşte coeficientul de utilizare a căldurii arcului şi permite micşorarea tensiunii la mersul în gol.

Productivitatea acestui proces este de 2...3 ori mai mare decât în curent monofazat. Consumul specific de energie scade, rezultând o economie de 25...30%. Tensiunea arcului se menţine la o valoare redusă.

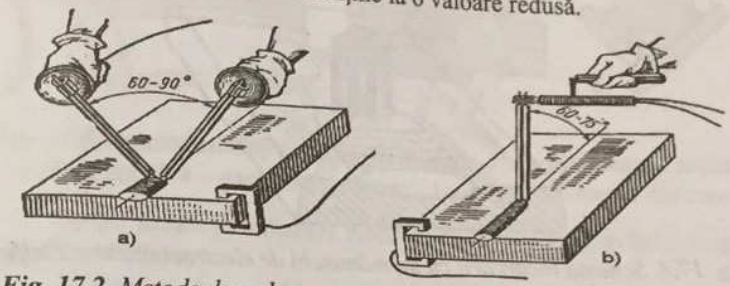


Fig. 17.2. *Metode de sudare cu curent trifazat (cu trei faze): a – cu doi electrozi fixaţi în doi portelectrozi; b – cu doi electrozi paraleli fixaţi într-un portelectrod special*

Electrozii folosiţi la sudarea manuală constau din două vergele de metal îmbrăcate într-un înveliş comun. Capetele electrozilor sunt neînvelite pentru a fi instalate într-un portelectrod de construcţie specială. Sudarea cu arc electric trifazat se foloseşte la îmbinarea tablelor de grosimi mijlocii şi mari în construcţia de maşini, cazane, pentru reparaţia defectelor de turnare ş.a. Sudarea multistrat a plăcilor cap la cap cu rostul V cu doi electrozi paraleli fixaţi într-un portelectrod special, se realizează în următoarea ordine: pentru sudarea mai bună a rădăcinii cusăturii primul strat se realizează cu doi electrozi aşezaţi în lungul cusăturii (fig. 17.3, a), iar următoarele straturi – cu electrozi aşezaţi transversal faţă de cusătură (fig. 17.3, b).

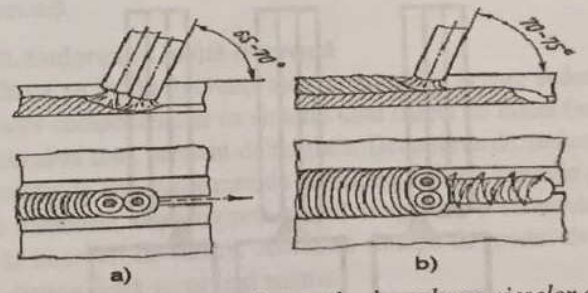


Fig. 17.3. *Scheme de aşezare a electrozilor la sudarea pieselor cap la cap în curent trifazat*

La sudarea şi încărcarea pieselor o parte de căldură se împrăştie în mediul ambiant. Pentru economisirea căldurii şi mărirea cantităţii de metal depus deseori se sudează cu un mănunchi de electrozi (fig. 17.4) cu curent trifazat.

Doi electrozi din mănunchi sunt activi (prin ei trece curentul de sudare), iar alţi doi electrozi sunt pasivi (ei se folosesc ca material de adaos).

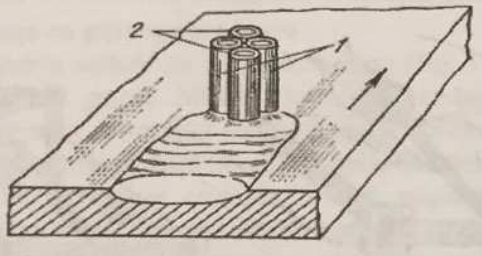


Fig. 17.4. Schema încărcării cu un mănunchi de electrozi în curent trifazat

17.3. Sudarea cu mănunchi de electrozi

Doi sau mai mulţi electrozi înveliţi se leagă în două – trei locuri cu sârmă subţire, iar capetele superioare (fără înveliş) se prind între ele cu sudură. Prin portelectrod ele se alimentează toate cu curent electric.

Arcul se amorsează la electrodul care-i mai aproape de componentele sudate (fig. 17.5), capătul primului electrod topindu-se se scurtează şi arcul trece la al doilea electrod (cel mai lung) ş.a.m.d. Prin această metodă electrozii se încălzesc mai puţin, iar aceasta permite de a lucra cu curenţi mai mari.

De exemplu, la sudare cu trei electrozi cu diametrul de 3 mm, curentul de sudare admis constituie 300 A. Productivitatea sudării se măreşte de 1,5...3 ori. Coeficientul de topire se măreşte, fiindcă miezurile electrozilor permanent se încălzesc de la căldura arcului.

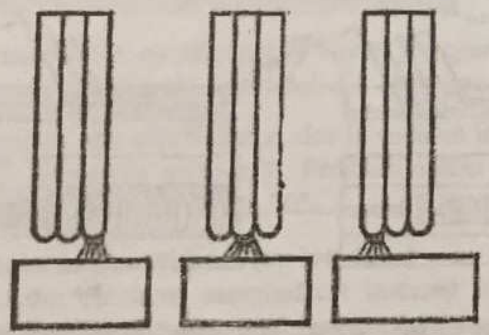


Fig. 17.5. Schema sudării cu un mănunchi de electrozi

17.4. Sudarea cu electrozi culcaţi

La acest procedeu electrodul (sau mai mulţi electrozi) este culcat în rostul dintre piesele care urmează să fie sudate. Arcul electric arde între capătul electrodului culcat şi muchiile pieselor (fig. 17.6).

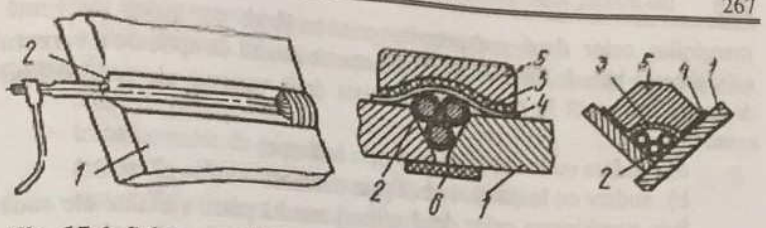


Fig. 17.6. Schema sudării cu electrozi culcaţi: 1 – componentele sudate; 2 – electrozi; 3, 4 – garnitură de bronz; 5 – sabot; 6 – suport din cupru

Pentru sudare se utilizează electrozi cu înveliş gros, având o lungime de până la 1000 mm.

Sudarea se efectuează în poziţie orizontală.

Pentru evitarea scurgerii metalului în partea inferioară a componentelor se instalează un suport din cupru. De sus electrozii se strâng către suprafeţele rostului de către un sabot cu garnitură de bronz.

Arcul electric se amorsează cu un electrod auxiliar şi pe urmă prelungeşte să ardă topind metalul electrozilor şi pieselor de bază. Lungimea arcului este egală cu grosimea învelişului, care constituie 1,5...3,0 mm. Sudarea cu electrozi culcaţi se poate realiza şi sub strat de flux.

Pentru sudarea cu electrozi culcaţi se folosesc electrozi de mărcile O3C – 12, O3C – 15H, O3C – 17H cu diametrul 4,5...6 mm şi lungimea 450...700 mm. Există diferite variante ale procedeului la care arcul electric este dirijat cu un câmp magnetic suplimentar cu ajutorul unor electromagneţi sau prin modificarea formei sârmei electrodului. Productivitatea sudării cu electrozi culcaţi este de 3...5 ori mai mare decât la sudarea manuală.

17.5. Sudarea cu înaltă frecvenţă

Sudarea cu înaltă frecvenţă este un procedeu la care sudarea se face prin încălzirea componentelor cu ajutorul unui curent de înaltă frecvenţă, cu sau fără aplicarea unei presiuni de refulare. Denumirea de *sudare cu înaltă frecvenţă* cuprinde mai multe metode de sudare, diferite între ele prin modul de formare a sudurii, respectiv prin modul de aplicare a curentului de înaltă frecvenţă în circuitul de sudare. Astfel, în funcţie de modul de formare a sudurii, se disting două variante şi anume:

- sudare cu înaltă frecvenţă prin presiune;
- sudare cu înaltă frecvenţă prin topire.

În primul caz, sudura se realizează prin încălzirea materialului cu înaltă frecvenţă şi deformarea plastică a acestuia după ce încălzirea a atins un anumit nivel, asemănător cu cazul sudării electrice prin presiune în stare solidă. În cazul al doilea, sudura se formează prin topirea simultană a

marginilor celor două componente prin încălzire cu înaltă frecvenţă şi solidificarea băii de metal topit. În funcţie de modul de aplicare a curentului de înaltă frecvenţă în componente, există două variante ale procedeului şi anume:

a) sudare cu înaltă frecvenţă prin inducţie;
b) sudare cu înaltă frecvenţă prin contact.

Prin combinarea celor două criterii rezultă patru variante ale sudării cu înaltă frecvenţă

În mod uzual, sudarea cu înaltă frecvenţă se realizează utilizând curenţi de frecvenţă în domeniul 3 – 1760 kHz. În funcţie de frecvenţa curentului, în literatură se utilizează următoarea clasificare:

- sudare cu frecvenţă medie (3 – 10 kHz);
- sudare cu frecvenţă intermediară (40 – 100 kHz);
- sudare cu radiofrecvenţă (peste 200 kHz, de obicei 220 kHz, 440 kHz sau 1760 kHz)

Procedeul de sudare cu înaltă frecvenţă se aplică atât pentru sudarea cap la cap (sudarea făcându-se simultan pe întreaga secţiune de îmbinat), cât şi pentru sudarea în linie (continuă) a unor componente cu lungime mare.

Faţă de procedeele de sudare clasice, sudarea cu înaltă frecvenţă are o serie de avantaje:

- eficienţa transferului de energie la sudare este ridicată, aproape 60% din energia consumată reprezintă energia utilă pentru sudare;
- energia utilizată la sudare poate fi controlată şi introdusă în mod localizat în componente;
- sistemul de transmitere a energiei la componente este mai simplu decât la sudarea electrică prin presiune;
- este posibilă transmiterea energiei fără contact fizic de la sursă la componente;
- solicitarea termică a materialului de sudat, zona influenţată termic şi deformaţiile la sudare sunt mai reduse decât în cazul altor procedee de sudare datorită aplicării energiei în mod localizat şi a sudării cu viteze mari (până la 30 m/min).

Sudarea cu înaltă frecvenţă poate fi aplicată la îmbinarea unui număr mare de materiale de bază: oţeluri carbon şi oţeluri slab aliate, aluminiu, cupru, zirconiu ş.a. În funcţie de materialul de bază, sudarea se efectuează în aer, în atmosferă de gaz protector sau în vid.

Încărcarea prin curenţi de înaltă frecvenţă se realizează pe baza efectului Joule în material şi este influenţată de efectul pelicular şi efectul de aproximaţie. Ambele efecte devin mai pronunţate odată cu creşterea frecvenţei. Cu curenţi de înaltă frecvenţă se pot încălzi materiale magnetice şi nemagnetice.

17.6. Echipamente de sudare cu înaltă frecvenţă

Un echipament de sudare cu înaltă frecvenţă conţine următoarele părţi principale:

- sursă de putere;
- transformator de adaptare;
- sistem de alimentare a circuitului de sudare;
- sistem de prindere a componentelor;
- sistem de refulare (în cazul sudării prin presiune);
- sistem de comandă.

Sudarea cu înaltă frecvenţă se realizează prin presiune (sudarea pin inducţie şi sudarea prin contact) şi prin topire când prin încălzire se formează o baie de metal topit prin solidificarea căreia se obţine sudura.

Sudarea cu înaltă frecvenţă prin topire. La acest procedeu încălzirea componentelor de sudat se realizează prin inducţie. Prin încălzire se formează o baie de metal topit prin solidificarea căreia se obţine sudura. Problema principală la sudarea prin topire este dificultatea evitării scurgerii băii de metal topit. Înălţimea băii de metal topit h_1, condiţionează calitatea sudurii. Creşterea lui h_1 asigură mărirea rezistenţei sudurii (fig. 17.7).

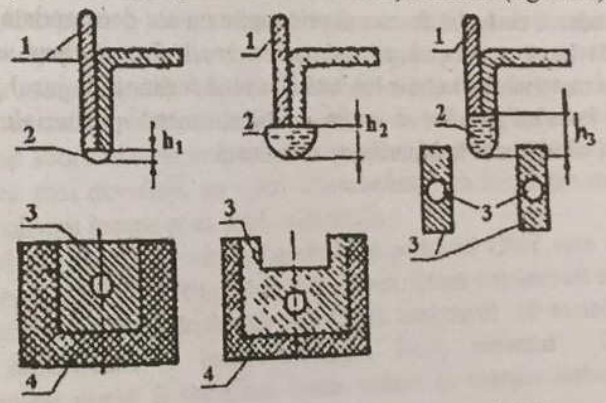


Fig. 17.7. *Exemple de suduri prin topire cu înaltă frecvenţă:*
1 – componente; 2 – baie de metal topit; 3 – inductor; 4 – miez magnetic;
h_1, h_2, h_3 – înălţimea băii de metal topit

Se pot suda prin topire componente de secţiune circulară, dreptunghiulară, eliptică, din diferite materiale de bază, ca oţeluri pentru structuri sudate, oţeluri aliate, titan etc. Se sudează prin topire componente cu grosimea 0,3...2,5 mm, cu lungime până la 600 mm. Frecvenţa curentului este de 60...440 kHz. Sudarea are loc simultan pe întreaga secţiune a îmbinării. Timpul de sudare este minimal.

Aplicaţii ale sudării cu înaltă frecvenţă. Din cauza costului înalt al echipamentelor de sudare cu înaltă frecvenţă, aplicarea acestui procedeu

devine eficientă la o producţie mai mare decât o anumită valoare critică. La producţii de serii mari şi în masă, datorită eficienţei utilizării energiei pentru sudare, a economiei de materiale şi productivităţii majorate, aplicarea sudurii cu înaltă frecvenţă reduce substanţial costurile de producţie. Un caz specific de aplicare a procedeului îl constituie sudarea pe generatoare a ţevilor din oţeluri carbon sau slab aliate atât prin inducţie, cât şi prin contact. În general, sudarea prin inducţie se recomandă în cazul ţevilor cu diametre până la 200 mm şi grosime a peretelui sub 15 mm, iar sudarea prin contact se utilizează mai ales în cazul ţevilor cu diametre mai mari (până la 1600 mm) şi grosime a peretelui sub 10 mm. În mod uzual, sudarea pe generatoare a ţevilor se face cu viteze de sudare de 15 – 300 m/min. Odată cu mărirea vitezelor de sudare peste aceste valori, având în vedere calitatea foarte bună a ţevilor sudate, este de aşteptat o extindere a utilizării ţevilor sudate în detrimentul ţevilor trase, fapt ce va contribui la lărgirea volumului de aplicare al sudării cu înaltă frecvenţă.

Sudarea cap la cap se utilizează mai puţin, aplicaţiile ei limitându-se, practic, la domeniul sudării ţevilor schimbătoarelor de căldură, la care sunt necesare până la 100000 suduri de ţevi pe un schimbător.

Sudarea cu înaltă frecvenţă prin topire nu are deocamdată o aplicare industrială largă şi concurează sudarea cu arcul electric doar atunci când încălzirea materialului trebuie limitată la o zonă restrânsă în jurul sudurii (de exemplu, în cazul pieselor ce conţin combinaţii metal – materiale ceramice) sau atunci când forma îmbinării este sofisticată.

Capitolul 18
PROCEDEE MODERNE DE SUDARE

18.1. Procedeul de sudare CMT (*Cold Metal Transfer* / Transfer Metal Rece)

Principalele caracteristici ale acestui procedeu sunt: sudarea cu energie liniară mică, amorsarea arcului electric fără stropi, detaşarea de sârmă a picăturii de metal topit prin mişcări de avans şi retragere a sârmei în timpul procesului de sudare cu frecvenţa curentului electric, realizându-se o mişcare oscilatorie a sârmei şi detaşarea picăturii de metal topit aproape fără curent de sudare ci datorită numai tensiunii superficiale a metalului topit.

Procedeul CMT este un procedeu nou de sudare cu o metodă complet nouă de detaşare a picăturii de metal topit de pe sârmă. Sârma electrod este deplasată către piesele de sudat până ce se produce un scurtcircuit. În acel moment, mişcarea sârmei este inversată şi sârma este trasă înapoi de la piesele de sudat. Când scurtcircuitul se întrerupe, mişcarea sârmei este din nou inversată, sârma se deplasează din nou spre piesele de sudat şi procesul reîncepe. În acest caz, nu există un program predeterminat de desfăşurare în timp a deplasării sârmei, dar apariţia şi întreruperea unui scurtcircuit determină viteza sârmei şi direcţia de mişcare a acesteia. Prin urmare deplasarea sârmei determină ceea ce se întâmplă în baia de sudare, iar procesele ce se petrec în baia de sudare determină deplasarea sârmei. Atunci când scurtcircuitul se petrece puţin mai devreme, retragerea sârmei începe şi ea mai devreme, iar când scurtcircuitul are loc puţin mai târziu, retragerea sârmei începe şi ea puţin mai târziu.

A doua trăsătură, care caracterizează procesul CMT este faptul că, transferul metalului se face aproape fără curent. După scurtcircuit sârma este trasă înapoi şi această deplasare determină transferul de metal, datorită tensiunii superficiale a metalului topit. Deci, curentul în timpul scurtcircuitului poate fi menţinut foarte scăzut şi energia liniară este de asemenea foarte mică.

În figura 18.1 este prezentată schematic diagrama curent/tensiune în timpul desfăşurării procesului CMT. Procesul CMT este caracterizat prin transferul de metal susţinut de deplasarea sârmei.

Avantajele procesului CMT. În cazul procesului CMT, curentul în timpul scurtcircuitului poate fi menţinut foarte mic. În mod suplimentar, scurtcircuitul se întrerupe într-un mod controlat, datorită retragerii sârmei. Aceste două fapte au ca rezultat realizarea de suduri şi lipiri tari, practic fără stropi, de aceea prelucrările mecanice a suprafeţelor după sudare sunt omise.

În procesul CMT, sârma este deplasată spre piesa de sudat până se

produce un scurtcircuit, care corespunde lungimii zero a arcului. După aceea, sârma este retrasă cu o anumită viteză, o perioadă de timp cunoscută. Din acest motiv, lungimea arcului este produsul dintre viteză şi timp. Lungimea arcului nu este controlată prin intermediul tensiunii de sudare, dar este ajustată mecanic după fiecare scurtcircuit.

Procesul CMT este capabil să realizeze punţi peste rost. Aceasta permite sudarea calitativă a tablelor foarte subţiri.

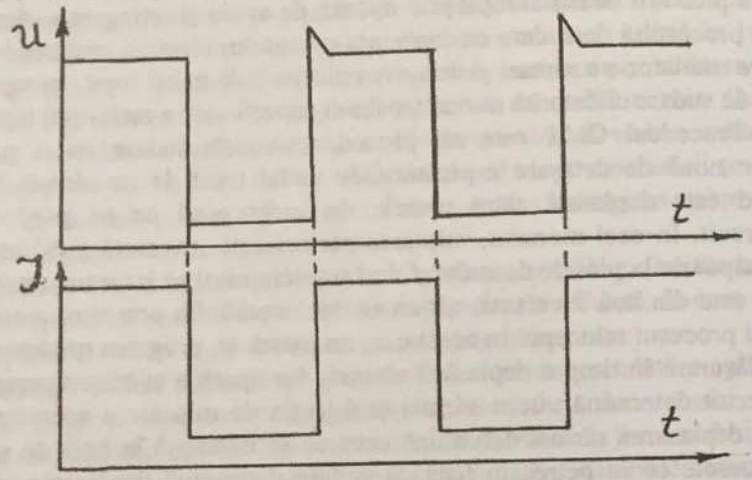


Fig. 18.1. Schema diagramei curent/tensiune în timpul desfăşurării procesului CMT

Aplicaţii. Procesul CMT are următoarele aplicaţii principale:
- lipirea tare fără stropi;
- sudarea tablelor subţiri (aluminiu, oţel, oţel inoxidabil);
- îmbinarea cu arc electric a oţelului cu aluminiu.

Condiţia pentru îmbinarea oţelului cu aluminiu este galvanizarea materialului de bază (oţelului), deoarece stratul galvanizat lucrează ca un fel de flux. La sudare materialul de bază oţelul, pe de altă parte, nu este topit dar numai lipit.

Capitolul 19
SUDAREA ROBOTIZATĂ

În ultimul timp se introduc în producţie noi procedee de sudare, caracterizate prin majorarea productivităţii muncii, sporirea calităţii construcţiilor sudate, micşorarea consumului de energie şi materiale, mecanizarea, automatizarea şi robotizarea proceselor de producţie. Astfel de procedee sunt: sudarea WIG, sudarea cu laser, sudarea cu fascicul de electroni, sudarea MAG cu două sârme, sudarea automatizată şi robotizată.

În figura 19.1 este prezentată structura unui robot de sudare şi tăiere, care conţine căruciorul *2* ce rulează pe calea *1*, fiind antrenat de motor-reductorul M_1. Pe cărucior este fixat suportul *3* în care este introdusă coloana *5*, ghidată şi centrată pe rulmenţi. Rotirea coloanei este asigurată de roata dinţată *4*, antrenată de motor-reductorul M_2.

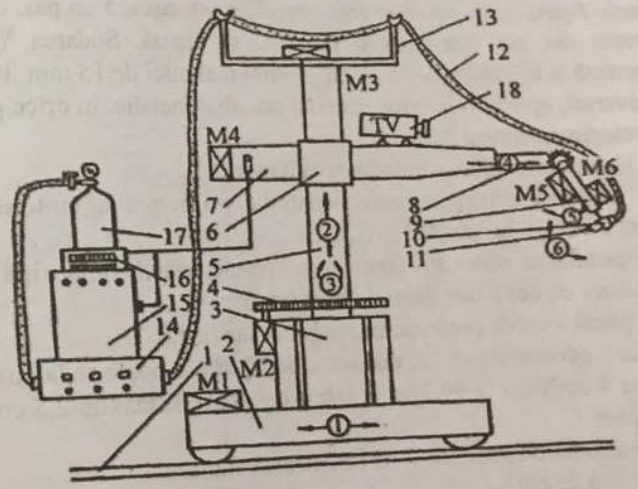


Fig. 19.1. Schema structurală a unui robot de sudare şi tăiere a metalelor

Pe coloana 3 prin doi suporţi sunt fixate două braţe solidare cu piuliţa ce se roteşte în şurupul antrenat de motor-reductorul M_3, asigurându-se translaţia pe verticală. Braţul *7* are lungimea fixă de 1000 mm, având posibilitatea de extensie a antebraţului *8* cu 700 mm prin antrenarea motor-reductorului M_4. Mecanismul de execuţie *9* are o mişcare de rotaţie de 180°, realizată de motor-reductorul M_5. Pe el este fixat portcapul de sudare *10*, rotit de motor-reductorul M_6. Capul de sudare *11*

este racordat la furtunul de gaz *12*, suspendat prin suportul *13* şi conectat la sursa de plasmă *14*. Sursa cu plasmă funcţionează în curent pulsant şi este alimentată cu gaz plasmogen din butelia *17*. Robotul este comandat de la pupitrul de comandă *15* şi programat de la programatorul *16*. Pe braţul robotului este fixată camera de luat vederi *18* ce supraveghează procesul de sudare.

19.1. Sudarea WIG robotizată

Sudarea WIG – (*Wolfram-Inert-Gaz*) – este un procedeu modern cu aplicaţii multiple, care foloseşte un electrod nefuzibil de wolfram, pe lângă care se insuflă un gaz inert în spaţiul de formare a arcului electric.

Operaţia se începe ţinând capul de sudare vertical faţă de piesă până se formează baia topită, după care acesta se înclină la un unghi de aproximativ 75° faţă de piesă, aducându-se vergeaua metalică de adaos sub un unghi de 15°, cu topirea unei picături de metal din vergea (materialului de adaos). Apoi, vergeaua se retrage, pistoletul avansează un pas, după care se apropie din nou vergeaua şi procesul se repetă. Sudarea WIG este recomandată la îmbinarea tablelor cu grosimi mai mici de 15 mm. Procedeul este universal, aplicabil la orice material sau aliaj metalic, în orice poziţie şi formă sau dimensiune a cusăturii.

Materialele folosite la sudarea WIG sunt:

- electrozi nefuzibili confecţionaţi din wolfram aliat cu toriu între 1 şi 2% sau cu zirconiu între 0,3 şi 0,5%;
- metalul de adaos sub forma unei vergele, având compoziţia chimică asemănătoare cu cea a metalului de bază (sudat);
- gazul inert de protecţie este argonul sau heliul.

La o puritate a gazului mai mare de 99,9% se poate suda cu o viteză de până la 4 cm/s, iar la 99,3% puritate – cu viteza de maxim 2,5 cm/s, fără să apară pori.

O instalaţie de sudare WIG robotizată conţine:

- sursă de curent;
- robotul – sudor;
- instalaţia de răcire;
- capul de sudare;
- reglatorul de presiune cu debitmetru, care se montează la butelia cu gaz de protecţie.

Schema de lucru a dispozitivului de sudare robotizată este prezentată în figura 19.2. Capul de sudare *1* este fixat cu o bridă pe suportul *2* al braţului robotului. Pe suportul *4* se montează dispozitivul *3* pentru avansarea sârmei, compus dintr-un motoreductor, două perechi de role şi o bobină cu

sârmă de adaos. Ghidarea sârmei-electrod este asigurată de tubul flexibil **5**. Mecanismul de poziţionare *7* asigură poziţia relativă a sârmei faţă de electrodul de wolfram pentru ca topirea să se facă într-un mediu protector, exact în spaţiul arcului.

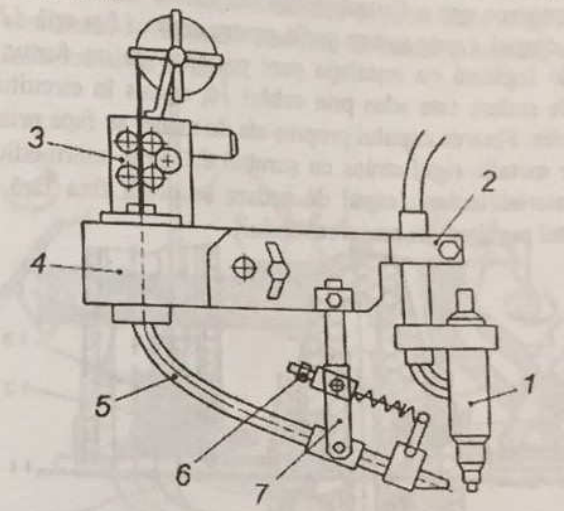


***Fig. 19.2.** Schema dispozitivului de sudare robotizată*

La acţionarea rozetei cu filet *6* se modifică poziţia capului tubului flexibil *5*. Suportul *2* se poate înclina faţă de suportul *4*, blocarea realizîndu-se cu un şurub. Soluţia permite modificarea unghiului de înclinare a electrodului faţă de planul cusăturii. Suportul *4* se fixează la echipamentul propriu-zis, pentru sudare. El poate fi acţionat de un mecanism de pendulare cu excentric. Capul de sudare şi sârmă-electrod execută oscilaţii pe direcţia transversală faţă de rostul îmbinării.

Capul de sudare WIG asigură transmiterea curentului de sudare, a gazului protector şi al apei de răcire în zona în care are loc procesul de sudare şi producerea unui arc între electrodul de wolfram şi piesă.

În figura 19.3 este prezentată schema constructivă a capului pentru sudarea WIG robotizată. Acesta are un singur circuit de răcire pentru electrod şi duză şi permite sudarea la un curent de maximum 630 A sau 500 A în regim de lucru intermitent. La corpul principal *4* se asamblează, prin înşurubare, corpul (*8*) care susţine electrodul. În corpul *8* sunt executate câteva canale axiale prin care se scurge apa spre camera de răcire a duzei *9*. Electrodul de wolfram *2* este fixat cu bucşa elastică *5* şi strâns prin rotirea bucşei filetate *1*. Protecţia electrică se asigură cu materiale izolatoare din care se execută corpul prelungitor al bucşei *1*, piuliţa *3*, cămaşa *6* şi bucşa

intermediară *7*. Pentru circuitele gazului şi ale apei s-au prevăzut inele de etanşare de cauciuc. Garnitura *15*, care delimitează o mică porţiune a circuitului de apă, se execută dintr-un material rezistent la temperatură (teflon), deoarece este solicitată termic mai intens.

La corpul *4* sunt sudate ţevile pentru argon *11* şi apă *12*. Elementele flexibile de legătură cu instalaţia sunt protejate de un furtun de cauciuc. Curentul de sudare este adus prin cablul *10*, dispus în circuitul de ieşire a apei de răcire. Fixarea capului propriu-zis de mâner se face prin intermediul unui colier metalic rigid strâns cu şurubul *13*. Prin intermediul mânerului 14, din material izolant, capul de sudare se poate fixa fără restricţii, la echipamentul purtător (pe braţul robotului).

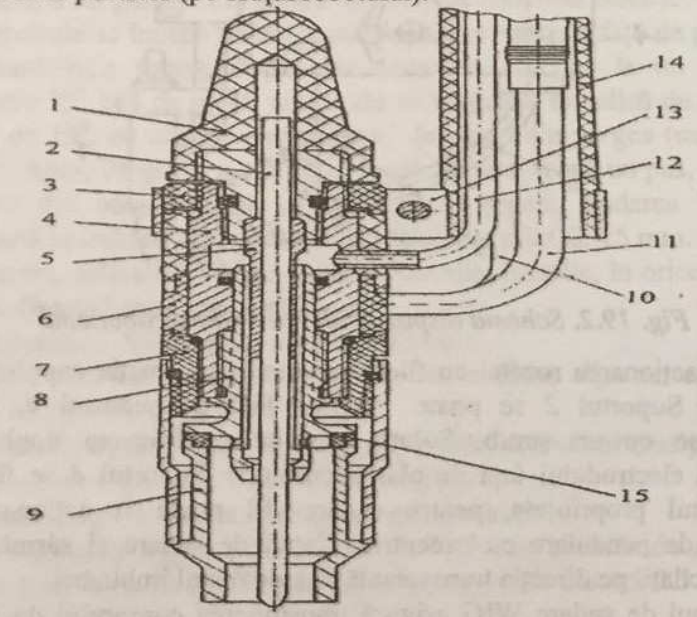


***Fig. 19.3.** Schema constructivă a capului de sudare robotizată WIG*

La sudarea WIG robotizată, poziţia capului de sudare este asigurată de braţul robotului pe care este dispus mecanismul ce asigură avansarea mecanizată a sârmei (vergelei) de adaos. La întreprinderile moderne se folosesc complexe tehnologice robotizate, care conţin unul sau cîţiva roboţi şi utilaje automatizate pentru încărcarea-descărcarea, deplasarea, rotirea, fixarea şi eliberarea componentelor de sudat şi ansamblului finit. Pentru metalizarea şi sudarea uniformă a pieselor în mod automat este utilizat complexul tehnologic robotizat (fig. 19.4), compus din robotul *3* şi manipulatorul *8*. Robotul are patru grade de mobilitate: trei translaţii şi o rotaţie lucrând în coordonate cilindrice. Instalaţia este compusă din sursa de

sudare *1*, sistemul de alimentare cu sârmă *2*, pistolul *4* şi sursa de aer comprimat *7*. Piesa de metalizat *6* se fixează pe platoul *5* al manipulatorului *8* plasat în faţa robotului *3*.

Platoul *5* execută o rotaţie uniformă în jurul axei sale. Acţionarea robotului se realizează cu motoare electrice de curent continuu, comandate de tensiune liniar variabilă în timp.

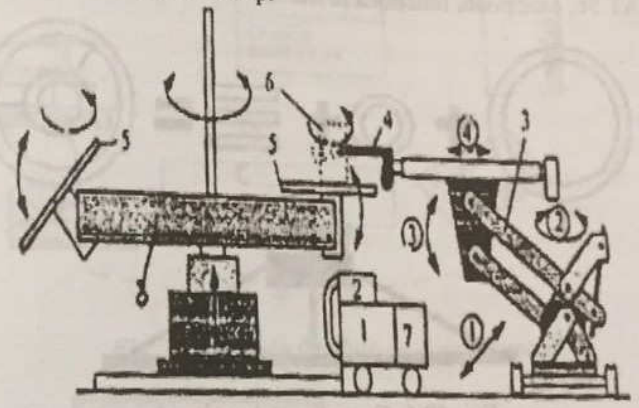


***Fig. 19.4.** Complex tehnologic robotizat*

Dirijarea se efectuează de două microprocesoare MICROPROG 228, prin patru canale analogice. Complexul robotizat (fig. 19.5) conţine o masă rotativă pe care se instalează componentele care urmează să fie sudate şi un robot de sudat.

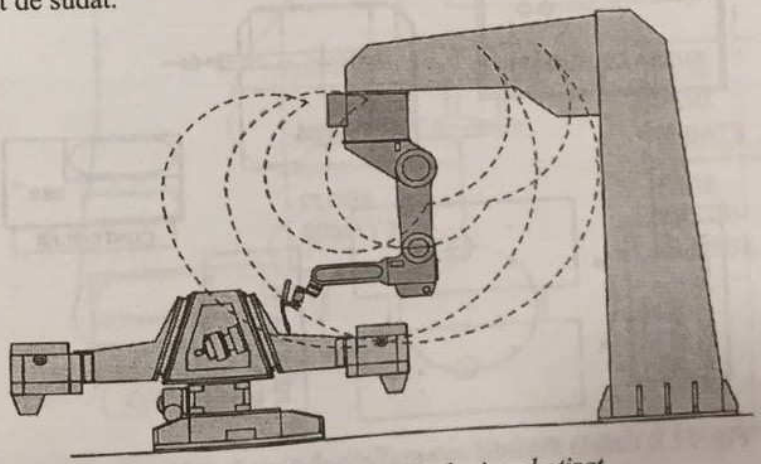


***Fig. 19.5.** Complex tehnologic robotizat*

19.2. Sudarea robotizată a volanului autovehiculului

Volanul autovehiculului este componenta principală în cadrul sistemului de direcţionare. El se compune din următoarele piese (fig. 19.6): inelul **1**, butucul **2** şi trei braţe de legătură dintre inel şi butuc (spiţe) **3**.

Pentru sudarea robotizată a volanului **4** se foloseşte un robot CLOOS ROMAT 56, care poate funcţiona în trei variante:

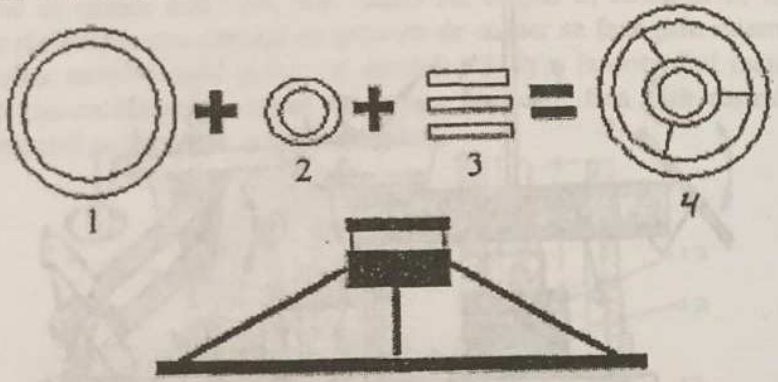


Fig. 19.6. Componentele volanului

- celula flexibilă cu masă rotativă cu două posturi de lucru indexabile la 180° (fig. 19.7);
- celula flexibilă cu două console (fig. 19.8);
- celula flexibilă cu manipulator rotativ şi basculant (fig. 19.9).

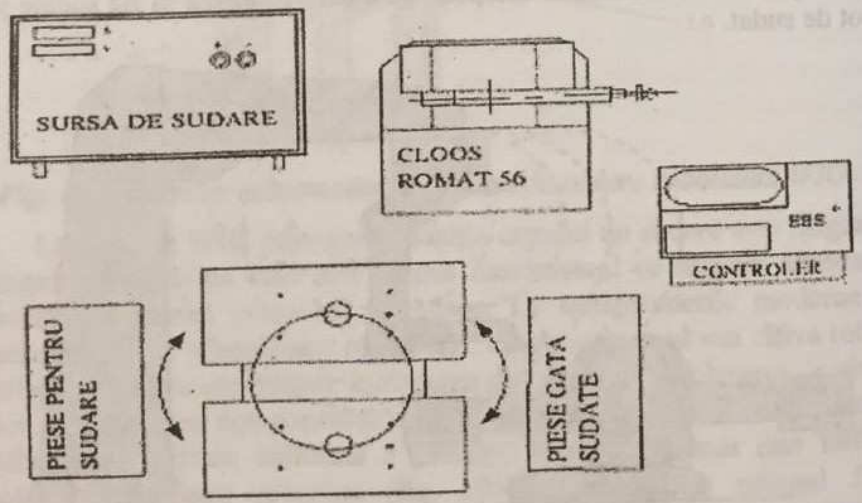


Fig. 19.7. Celula flexibilă cu masă rotativă cu două posturi de lucru indexabile la 180°

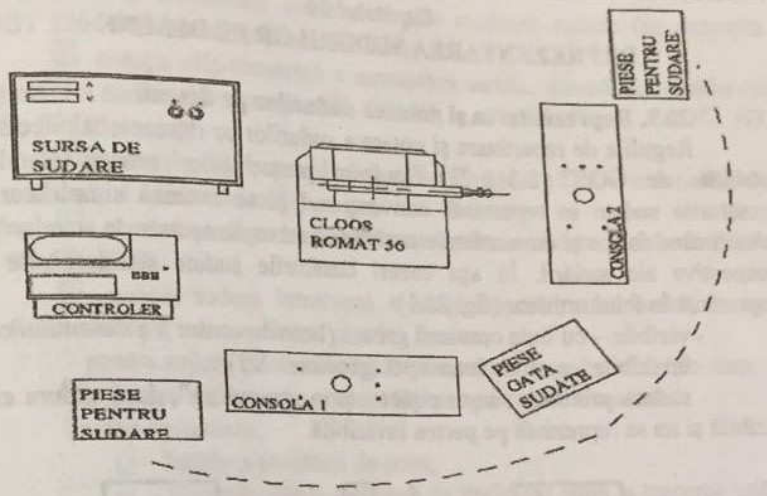


Fig. 19.8. Celula flexibilă cu două console

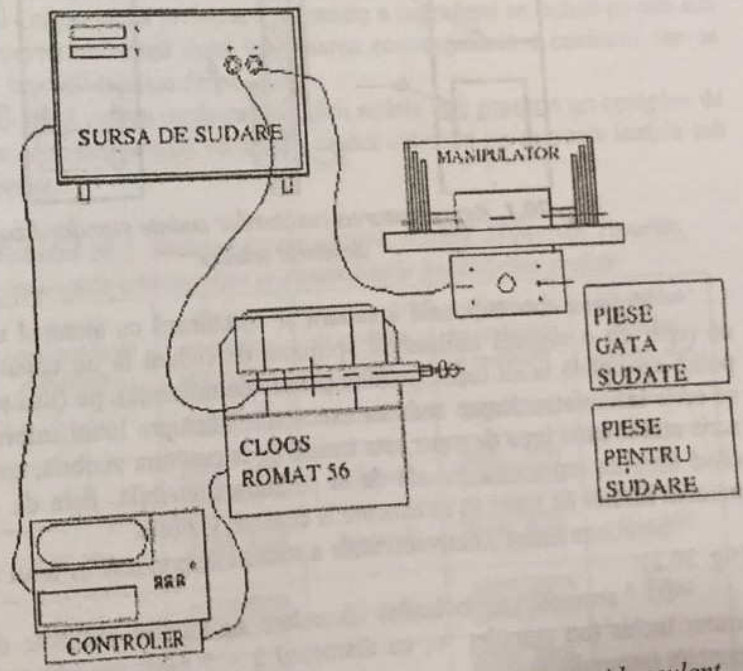


Fig. 19.9. Celula flexibilă cu manipulator rotativ şi basculant

Capitolul 20
REPREZENTAREA SUDURILOR PE DESENE

20.1. Reprezentarea şi notarea sudurilor pe desene

Regulile de repartizare şi notare a sudurilor pe desenele tehnice sunt stabilite de GOST 2.312-72. Conform prescripţiilor acestui standard cusăturile sudate se reprezintă convenţional şi se notează simplificat în cazuri când forma şi dimensiunile cusăturii sunt reglementate de standardele respective ale sudării. În aşa cazuri cusăturile sudate standardizate se reprezintă în felul următor (fig. 20.1):

- vizibile – cu linie continuă groasă (linie de contur *S* a desenului);
- invizibile – cu linie întreruptă (grosimea *S/2*);
- sudura printr-un singur punct – prin semnul „+", dacă sudura este vizibilă şi nu se reprezintă pe partea invizibilă.

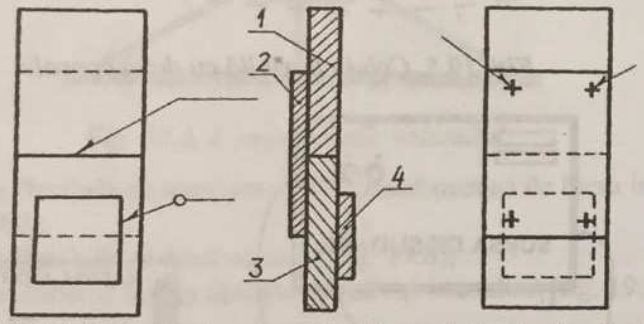


Fig. 20.1. *Reprezentarea cusăturilor sudate standardizate pe desenele tehnice*

Notarea convenţională a sudurii se efectuează cu ajutorul unei linii de reper cu o săgeată unilaterală sprijinită de sudură la un capăt şi cu o poliţă orizontală la alt capăt (numită şi linie de referinţă), pe (sau sub) care se scrie informaţia despre sudarea executată. Deasupra liniei informaţia se scrie atunci când linia de reper este trasată de la cusătura vizibilă, sub linie – când linia de reper este trasată de la cusătura invizibilă. Este de dorit ca trasarea liniilor de reper să se execute la cusături vizibile.

Structura scrierii convenţionale a sudurii se prezintă în felul următor (fig. 20.2):

[1] - semnele (simbolurile) secundare ale sudurii realizate după un contur închis (un cerculeţ ○, cu diametrul 3 ÷ 5 mm) sau ale sudurii de montare (semnul ┐);

[2] - standardul sudării de realizat, care reglementează tipurile,

dimensiunile şi elementele constructive ale cusăturii sudate (de exemplu GOST 5264-84 – sudare prin arc electric);

[3]- notaţia alfa-numerică a asamblării sudate, aleasă din standardul respectiv a sudării (de exemplu *C1, C2, C3, ..., T1, T2, T3, ..., H1, H2, H3, ...Y1, Y2, Y3*, ...etc);

[4]- semnul convenţional al metodei de sudare (*Rn* – manuală, *M* – mecanizată, *A* - automatizată);

[5]- semnul şi dimensiunea catetei cusăturii sudate (pentru îmbinări de tipul *Y, T, H*);

[6]- pentru sudura întreruptă – lungimea sectorului sudat, în mm semnul/ sau *Z* şi dimensiunea pasului, în mm;

- pentru sudura printr-un punct – diametrul cercului sudat, în mm;

[7] - pentru sudura prin contact lăţimea calculată a cusăturii.

Semne secundare:

$\underline{O}$ – întărirea cusăturii de scos;

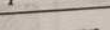
$\underline{\omega}$ - neregularităţile cusăturii de prelucrat până la trecerea lină la metalul de bază;

- sudură executată după un contur deschis;

[8] - rugozitatea prelucrării mecanice a suprafeţei se indică pe sau sub poliţa liniei de referinţă după însemnarea convenţională a cusăturii sau se indică în învoieli tehnice de pe desen;

[9]- dacă pentru cusătura îmbinării sudate este prescris un complex de verificare sau categoria de verificare, atunci indicaţia lor se poate instala sub linia de reper.

Tabelul 20.1. *Sudarea cu arc electric (GOST 5264-80). Tipurile, elementele constructive şi dimensiunile îmbinărilor sudate*

Tipul îmbinării	*Notaţia convenţională a îmbinării*	*Forma rosturilor prelucrate*	*Caracteristica cusăturii sudate*	*Forma transversală a cusăturii*	*Grosimea pieselor sudate, mm*
Cap la cap	C 2		Unilateral		1 ÷ 4
	C 8		Unilateral		3 ÷ 60
	C 13		Bilateral		15 ÷ 100
	C 15		Bilateral		8 ÷ 100
	C 25		Bilateral		8 ÷ 100

Tabelul 20.1. (continuare)

În colţ	Y 1		Unilateral		1 ÷ 4
	Y 5		Bilateral		2 ÷ 30
	Y 6		Unilateral		3 ÷ 60
	Y 8		Bilateral		8 ÷ 100
	Y 10		Bilateral		3 – 60
În T	T 1		Unilateral		2 – 40
	T 3		Bilateral		
	T 2		Bilateral		15 – 100
	T 5		Bilateral		30 – 120
	T 6		Unilateral		3 – 60
	T 7		Bilateral		

Tabelul 20.1. (continuare)

În T	T 8		Bilateral		8 – 100
	T 9		Bilateral		12 – 100
Prin suprapunere	H 1		Unilateral		2 – 60
	H 2		Bilateral		

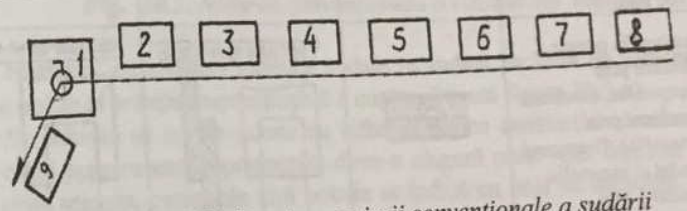
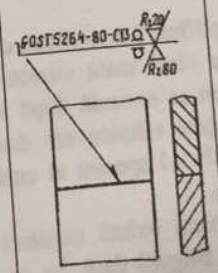
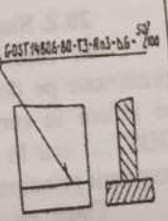


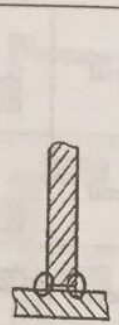
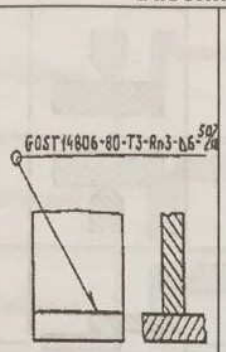
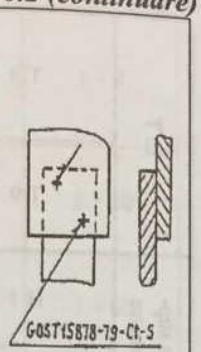
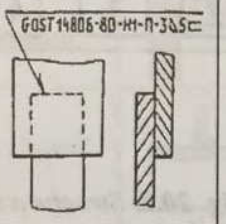
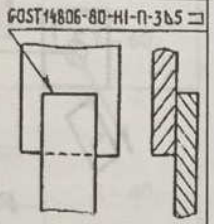
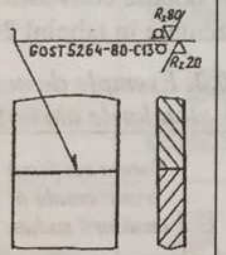
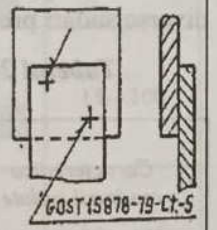
***Fig. 20.2.** Structura scrierii convenţionale a sudării*

Exemple de notaţie convenţională a unor cusături executate prin diverse sudări prezentate în tabelul 20.2.

***Tabelul 20.2.** Exemple de notare convenţională a cusăturilor sudate standarde ale îmbinărilor prin sudare*

Caracteristica cusăturii sudate	*Forma secţiunii transversale a cusăturii sudate*	*Notarea cusăturii sudate, prezentate pe desen*	
		din faţă (vizibilă)	*din spate (invizibilă)*
Cusătură sudată a îmbinării cap la cap (C) cu teşirea curblinie a unei margini (C13), executată manual (Rn) prin arc electric (GOST 5264-80) la montare. Întărirea cusăturii de scos din ambele părţi. Rugozitatea cusăturii din faţă Rz 20 μm din spate Rz 80 μm.			

Tabelul 20.2 (continuare)

Cusătura sudată a îmbinării în „T" fără teşirea marginilor, bilaterală (T3), întreruptă de zigzag (Z), executată prin arc electric protejat în gaze inerte (GOST 14806-80), manual cu electrod metalic (Rn3), după contur închis (O), cateta cusăturii 6 mm, lungimea porţiunii sudate l=50 mm, pasul t=100 mm.			
Cusătură în puncte a îmbinării prin suprapunere, executată cu sudarea prin contact (C_t). Diametrul calculat al punctului de sudat 5 mm.			
Cusătura îmbinării prin suprapunere (H) fără teşirea marginilor (H1), unilaterală, executată prin arc electric mecanizat (П), protejată în gaze inerte cu electrod fuzibil. Cusătura se execută după contur deschis, cateta cusăturii 5 mm.			

20.2. Simplificări la notarea cusăturilor sudate

În cazurile când toate cusăturile sudate ale unităţii de asamblare prezentate pe desen se execută după acelaşi standard, notarea standardului se indică în cerinţele tehnice ale desenului (scriere de tip: sudate după GOST...) sau în tabelul special al cusăturilor amplasat pe desen deasupra înscrierii principale.

Dacă pe desen există cusături identice, notarea convenţională a cusăturii se scrie o singură dată, iar de la celelalte cusături se trasează linii de indicaţii cu poliţă. Toate cusăturile sudate se notează cu aceeaşi cifră

numerică care se scrie (fig.20.3):

- pe linia de indicaţie, trasată de la poliţa cu notaţia convenţională a cusăturii sudate (fig. 20.3,a);
- pe poliţa liniei de indicaţie, trasate de la reprezentarea cusăturii sudate, (care nu are notaţie convenţională) din faţă (fig. 20.3,b);
- sub poliţa liniei de indicaţie, trasate de la reprezentarea cusăturii sudate din spate (fig. 20.3,c).

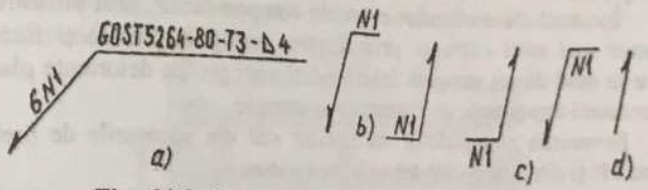


Fig. 20.3. Notarea convenţională a cusăturilor sudate

Numărul de cusături identice sudate se indică pe linia de indicaţie, care are poliţa şi notaţia convenţională a cusăturii (vezi figura 20.3,a).

Se admite să nu fie notate cu cifre numerice cusăturile identice în cazuri când acestea sunt reprezentate dintr-o singură parte (din faţă sau din spate) prin aceasta, cusăturile fără notaţie se indică cu linii de indicaţie fără poliţă (vezi figura 20.3,d).

Dacă obiectul de proiectat prezintă obiect simetric se admite notaţia cusăturilor sudate numai pe o parte a acesteia.

Cerinţele unice faţă de cusăturile sudate identice se scriu o singură dată în cerinţele tehnice sau în tabelul special al cusăturilor.

Capitolul 21
TEHNOLOGII ALE CONSTRUCŢIILOR SUDATE PENTRU DIFERITE TIPURI DE STRUCTURI

Tehnologia sudării pieselor specifice organelor de maşini. Realizarea pieselor prin tehnologia construcţiilor sudate prezintă numeroase avantaje, indiferent de dimensiunile pieselor sau seria de producţie.

În cazul dimensiunilor mari ale componentelor, prin utilizarea unor elemente mai mici obţinute prin forjare, matriţare, presare şi fixate prin sudare în mod direct sau prin intermediul unor profile deformate plastic, se fac economii importante de materiale şi energie.

Economia materialelor va rezulta atât din adaosurile de prelucrare minime cât şi din adaosurile tehnologice reduse.

Economia de energie va rezulta datorită micşorării cantităţilor de metal matriţat sau turnat din ansamblul sudat, întrucât la sudare pot fi utilizate componente sub formă de profile laminate, ţevi, table etc. Faţă de piesele mari turnate, cele obţinute prin sudare au o rezistenţă mai mare, deci sunt mai suple, cu o greutate proprie redusă, ceea ce le conferă o funcţionalitate sporită.

Organele de maşini cele mai frecvent realizate prin tehnologia construcţiilor sudate sunt: tije, pârghii, arbori, rotoare, role, roţi, pinioane, tambururi etc. La proiectarea şi realizarea raţională a organelor de maşini prin tehnologia construcţiilor sudate se va ţine seama că solicitările la care sunt supuse în exploatare piesele au valori maxime, iar condiţiile de funcţionare sunt complexe (stări spaţiale ale tensiunilor, factori puternici de concentrare ai eforturilor, efecte termice variabile, sarcini dinamice şi ciclice).

Prin urmare, se recomandă utilizarea unor oţeluri sudabile cu tenacitate avansată, amplasarea îmbinărilor sudate în afara zonelor de solicitare maximă, evitarea intersectării sudurilor.

Alegerea metodei de sudare a pieselor organelor de maşini se face pe baza calităţii, ţinându-se cont de criteriul economic. În funcţie de forma şi dimensiunile organelor de maşini, de locul unde lucrează, solicitările la care sunt supuse etc se alege procedeul de sudare adecvat folosindu-se cu precădere procedeul care asigură o piesă de bună calitate şi cu eficienţă economică maximă.

21.1. Tehnologii de execuţie ale arborilor sudaţi

Arborele turbinei hidraulice constă din două flanşe şi din două virole confecţionate din oţel 25 ГС (fig. 21.1). După forjare semifabricatele se supun recoacerii şi pe urmă prelucrării mecanice cu adaos de prelucrare 20 mm. După aceasta virolele se sudează sub strat de flux. Pe urmă trec operaţiile de revenire şi după răcire – de prelucrare mecanică cu un adaos de 20 mm. După aceasta se sudează flanşele după ce se realizează normalizarea şi revenirea. Operaţia finală este prelucrarea mecanică la dimensiunea necesară şi verificarea calităţii ansamblului.

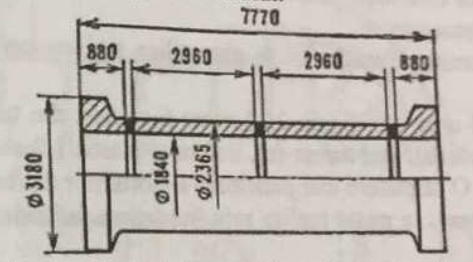


Fig. 21.1. *Construcţia forjat – sudată a arborelui turbinei hidraulice*

Sudarea electrică sub strat de flux se execută la instalaţii pentru sudarea cusăturilor circulare dotate cu două aparate. Începutul sudării fiecărei cusături circulare următoare se deplasează la un unghi de 120°. Aceasta permite micşorarea devierilor axei ansamblului de la axa centrală.

Arborele rotorului (fig. 21.2, a) se execută din oţel laminat, iar rotorul poate fi turnat, forjat (b), din plăci de oţel îmbinate circular în baia de zgură (c) sau din tablă presată rigidizată cu nervuri. În cazul arborilor cu dimensiuni mari, manetoanele se decupează din tablă groasă, paletele din oţel rotund, iar sudarea se realizează prin presiune (fig. 21.2, c).

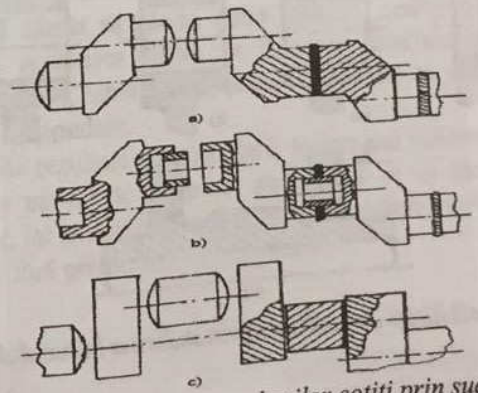


Fig. 21.2. *Realizarea arborilor cotiţi prin sudare*

Este posibilă realizarea arborilor cotiţi prin tehnologii de construcţii sudate (TCS). Manetoanele forjate împreună cu jumătăţile de paliere se sudează cap la cap prin presiune, prin frecare sau prin topire cu arc electric.

21.2. Tehnologii de execuţie ale rolelor, roţilor şi tamburilor sudaţi

Realizarea organelor de mai sus este posibilă prin TCS în cazul producţiei de serie mică şi serie mare. În cazul pieselor de dimensiuni mari, partea cilindrică exterioară se execută din tablă rulată sau ambutisată care se sudează după generatoare.

La dimensiuni mai mici se pot utiliza ţevi cu pereţi şi diametre dorite.

Butucul unei roţi, figura 21.3 poate fi realizat din tablă decupată şi sudată (a), ţeavă (b), oţel turnat (c), deformat plastic (d) sau prelucrat din oţel rotund (e). O dispunere mai judicioasă a eforturilor din butuc în cazurile solicitărilor severe, se poate realiza prin împărţirea judicioasă a eforturilor din butuc.

În funcţie de dimensiunile pieselor (fig. 21.4) acestea se pot asambla: prin intermediul discurilor decupate din tablă (a, b, c), a spiţelor din tablă plată, tablă ambutisată sau ţeavă, dar se mai pot executa şi prin sudare directă pe butuc (în cazul rolelor de dimensiuni mici) (g).

Piesele executate prin sudare, în final sunt supuse prelucrărilor mecanice pe maşini-unelte în vederea realizării canelurilor, locaşurilor de pană, prelucrarea la rotund şi evident prelucrarea supraînălţărilor cordoanelor de sudură.

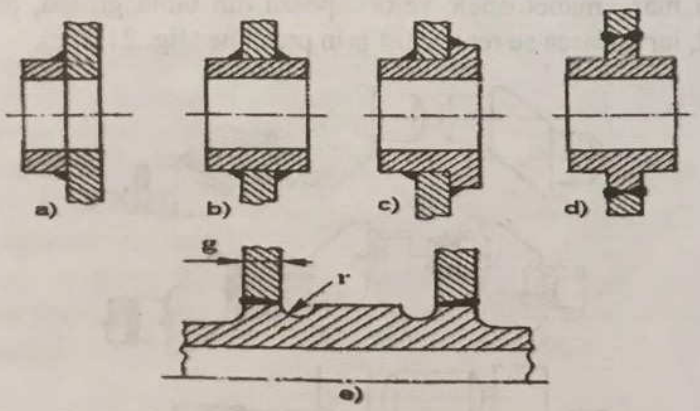


Fig. 21.3. Posibilităţi de realizare prin sudare a butucului unor roţi

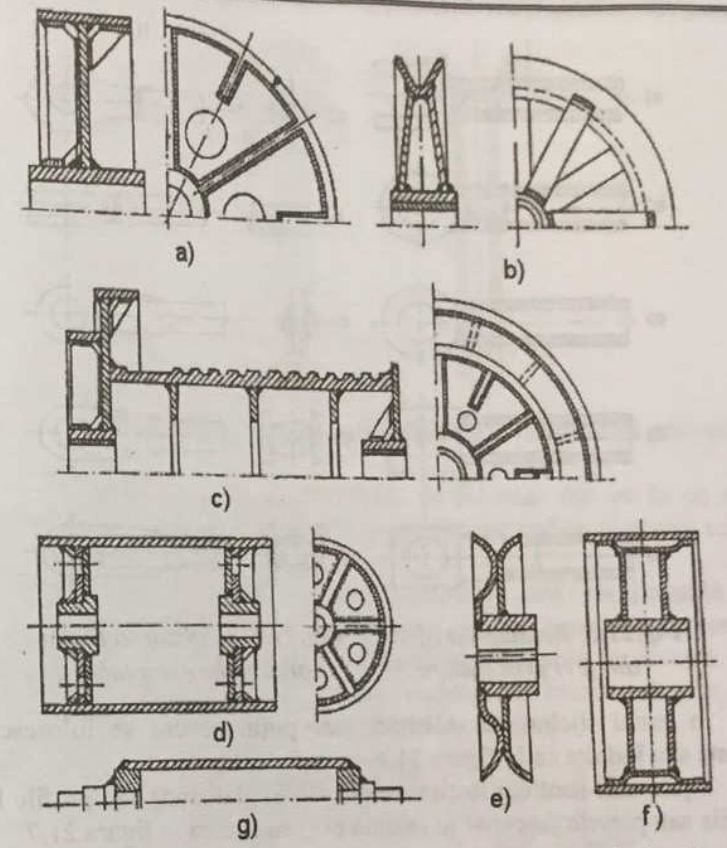


Fig. 21.4. Construcţia sudată a unor piese cu secţiuni circulare

21.3. Tehnologii de execuţie a tijelor sudate

În cele mai multe cazuri tijele sudate sunt formate din tija propriu-zisă la capătul căreia se găsesc piese (ochiuri) realizate prin deformare plastică.Pentru realizarea tijelor se folosesc semifabricate cu greutate proprie redusă (ţevi, tablă rulată, profile laminate) la care se sudează în capete ochiuri de prindere.

Ochiurile rezultate prin matriţare, forjare sau debitare din profile vor fi prelucrate la părţile de îmbinare, prelucrarea se va face conform celor arătate anterior, iar în anumite cazuri (solicitări reduse), ochiurile se sudează cap la cap în T fără prelucrare, ca în figura 21.5.

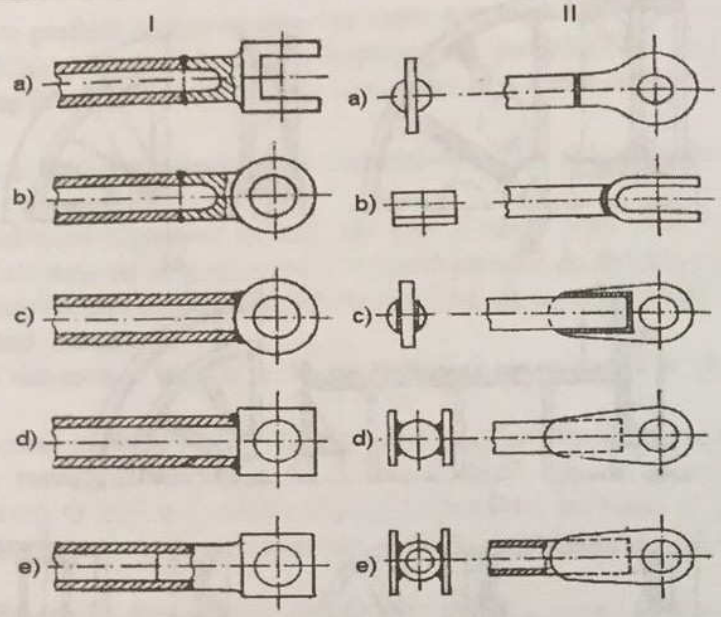


Fig.21.5. Realizarea tijelor din ţevi prin sudare

Fig.21.6. Realizarea tijelor prin sudare din tablă

În cazul tijelor cu solicitări mai puţin severe se folosesc table decupate sau îndoite ca în figura 21.6.

Tijele mai sunt confecţionate din tablă, platbandă sau profile la care ochiurile sau piesele de capăt se îmbină prin sudare ca în figura 21.7.

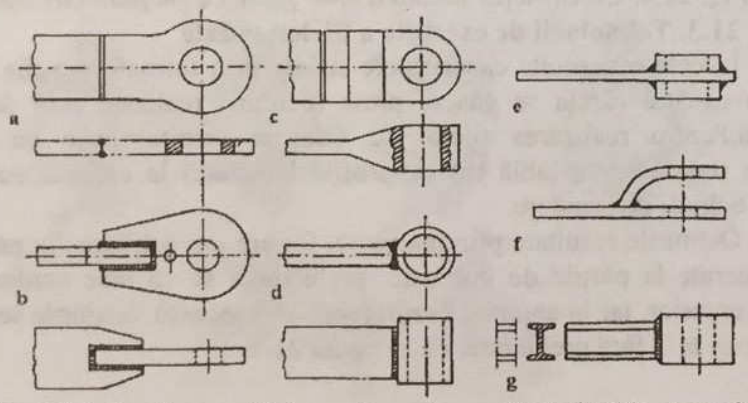


Fig. 21.7. Realizarea tijelor prin sudare utilizînd table şi profile

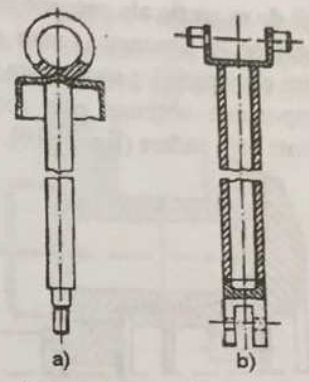


Fig. 21.8. Realizarea prin sudare a unor piese de autovehicule

În construcţia de autovehicule se folosesc din ce în ce mai mult posibilităţile oferite de tehnologia construcţiilor sudate şi pentru construcţia pârghiilor (fig. 21.8).

Pentru pârghii, cele mai uşor realizabile sunt cele din tablă decupată pe care se aplică prin sudare de colţ, ţevi, profile laminate sau componente matriţate (fig. 21.9). Decuparea elementelor din tablă se execută de obicei prin procedee de tăiere termică iar sudarea se realizează prin procedee automate sau semiautomate (sudarea MAG, SF etc).

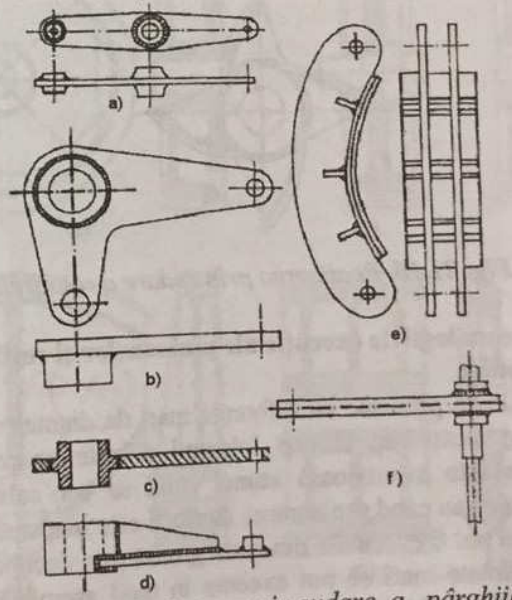


Fig. 21.9. Realizarea prin sudare a pârghiilor

21.4. Tehnologii de execuţie ale rotoarelor sudate

Realizarea rotoarelor la dimensiuni mari având forme complicate prin aplicarea tehnologiei construcţiilor sudate este mai avantajoasă.

Elementele componente obţinute prin forjare, matriţare, turnare, laminare etc, sunt îmbinate prin sudare (fig. 21.10).

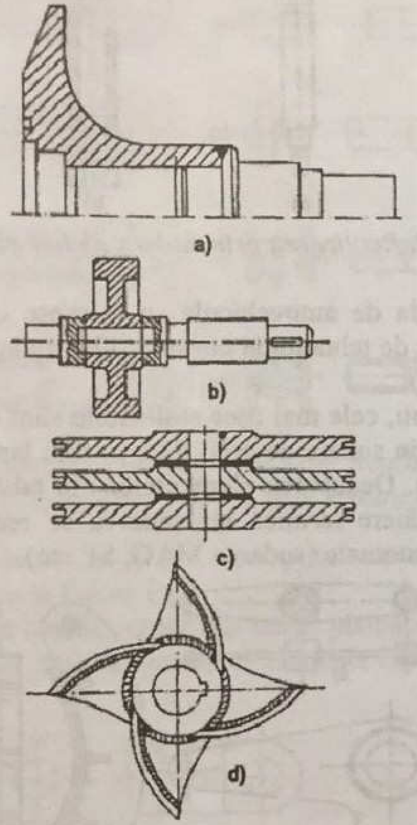


Fig. 21.10. Realizarea prin sudare a rotoarelor

21.5. Tehnologii de execuţie ale pinioanelor şi roţilor dinţate sudate

Grupurile de pinioane cu diferenţe mari de diametru se pot executa din mai multe bucăţi cap la cap folosind diferite procedee de sudare. Această soluţie este avantajoasă atunci când se cer calităţi diferite ale pieselor danturate sau când prelucrarea danturii este inaccesibilă. Pinioanele de diametre mici pot fi executate din tablă groasă prin decupare.

Roţile dinţate mari se pot executa în mod asemănător cu rolele şi tamburii sudaţi, figura 21.11.

Roţile pentru lanţuri (calibrate) sau necalibrate, roţi pentru transmisii prin curele se pot executa cu segmente din tablă ambutisată care se sudează apoi pe butucul confecţionat din ţeavă sau din oţel rotund.

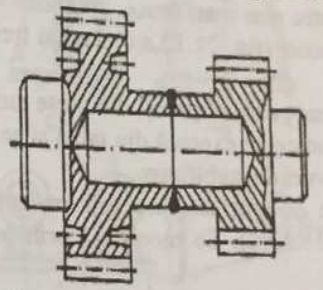


Fig. 21.11. Realizarea prin sudare a grupurilor de pinioane

În funcţie de dimensiunile pieselor componente, legătura dintre obada roţii şi butucul acesteia, se poate realiza prin intermediul discurilor decupate din tablă, a spiţelor din tablă, ţeavă sau dintr-o piesă sudată direct pe butuc la role cu diametre mici (fig. 21.12,a...g). În general obada roţii se execută din tablă rulată.

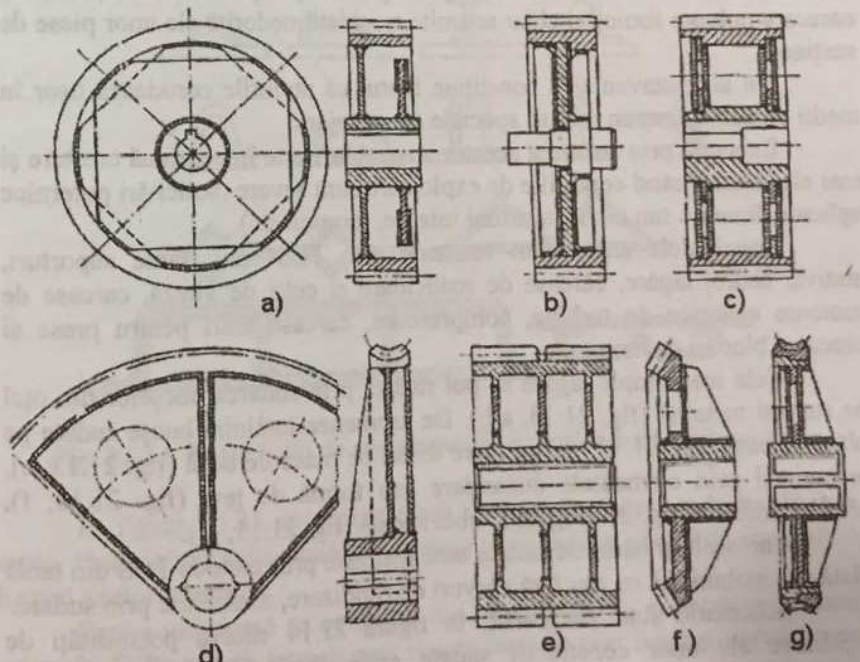


Fig. 21.12. Realizarea prin sudare a roţilor dinţate

Roţile cu dinţi drepţi de diametru mediu (sub 1000 mm) se realizează cu un disc plasat central şi stabilizat cu nervuri.

Butucul roţii poate fi un arbore sau o bucşă.

Roţile cu diametre mai mari (max. 2000 mm) şi cu lăţime mai mare se sudează cu două discuri (fig. 21.12,a,c) sau cu trei discuri (fig. 21.12,e), fără nervuri.

Obada roţii se mai poate obţine şi din piese turnate sau forjate.

Roţile dinţate conice se execută din tablă şi se sudează pe butuc (fig. 21.12,f) cu sau fără nervuri de stabilizare.

Tot prin sudare se pot executa roţi melcate (fig. 21.12, g) sau sectoare melcate (fig. 21.12,d). Se montează prin presare pe suportul din oţel sudat.

21.6. Tehnologii de execuţie ale lagărelor, carcaselor şi batiurilor sudate

Înlocuirea lagărilor, carcaselor şi batiurilor turnate cu cele executate prin TCS din oţel, prezintă avantaje deosebite în ceea ce priveşte fiabilitatea şi preţul de cost.

Principalul dezavantaj al înlocuirii fontei cu oţelul în acest caz, îl constituie transmisia intensă a vibraţiilor prin corpul pieselor care produc o oarecare poluare fonică şi chiar anumite trepidaţii nedorite ale unor piese de susţinere.

Un alt dezavantaj îl constituie faptul că oţelurile corodează uşor în medii corozive, impun măsuri speciale de protejare.

Execuţia prin sudare a acestor ansambluri este în continuă creştere şi mai ales atunci când condiţiile de exploatare sunt severe (solicitări puternice aplicate dinamic sau ciclic, tensiuni interne, termice etc).

Principalele ansambluri realizate prin TCS sunt: rame suporturi, stative, cadre, lagăre, carcase de reductoare şi cutii de viteză, carcase de motoare electrice de turbine, compresoare, carcase mari pentru prese şi ciocane, blocuri de motor etc.

Cele mai simple lagăre se pot realiza prin sudarea bucşelor din oţel pe suporţi metalici (fig. 21.13, a,b). De asemenea întâlnim bucşe sudate pe plăci de bază (fig. 21.13, c,d), sudare direct pe placa de bază (fig. 21.13, e), precum şi prin elementele distanţiere sub formă de ţevi (fig. 21.13, f), profile laminate (fig. 21.13,g) sau tablă sudată (fig. 21.13, i,j).

Carcasele şi batiurile sudate sunt realizate prin metoda TCS din tablă plată sau ambutisată cu sau fără nervuri de rigidizare, asamblate prin sudare.

Schematic sunt prezentate în figura 21.14 câteva posibilităţi de rigidizare ale unor construcţii sudate grele (batiuri, carcase, motoare termice, motoare electrice etc).

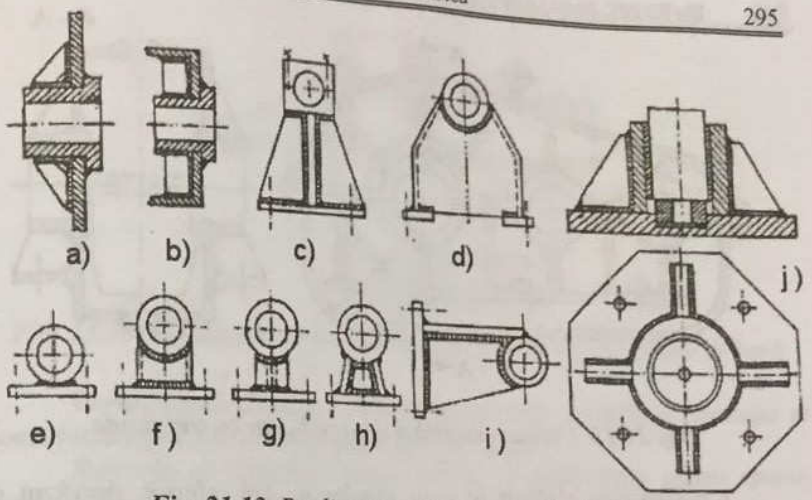


Fig. 21.13. Realizarea prin sudare a lagărelor

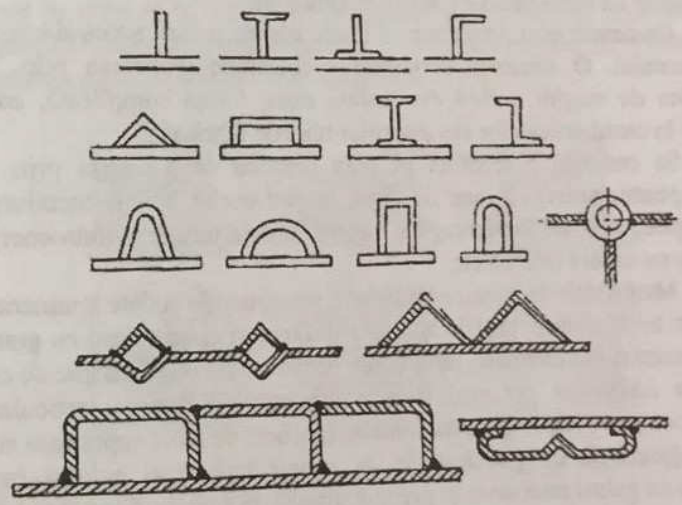


Fig. 21.14. Posibilităţi de rigidizare ale pereţilor batiurilor sudate

În figura 21.15 este prezentată o carcasă a unui reductor în trei trepte. Este alcătuită din două părţi demontabile având planul de simetrie în dreptul axelor arborilor.

Partea inferioară se compune din pereţii laterali şi peretele de fund sudate în T. Pe pereţii laterali sunt sudate bucşele port lagăr şi nervurile de rigidizare.

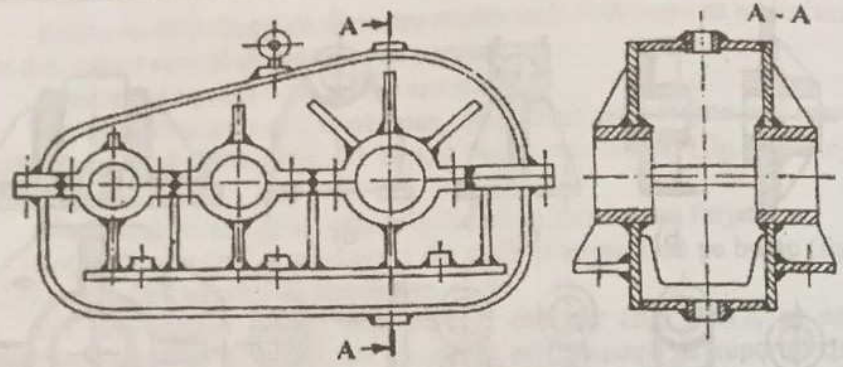


Fig. 21.15. Carcasa sudată a unui reductor cu trei trepte

Capacul este alcătuit în mod similar cu cel inferior, prevăzut cu bucşe sudate şi nervuri de rigidizare. În planul de separaţie bucşele lagărelor sunt sudate cu plăci necesare asigurării etanşării.

Carcasele sunt prevăzute cu bucşe filetate pentru acces şi evacuare a lubrifiantului. O eficienţă deosebită o constituie realizarea prin TCS a batiurilor de maşini, având dimensiuni mari, formă complicată, solicitări intense în cazul unicatelor sau a seriilor mici de fabricaţie.

Se constată o tendinţă pe plan mondial de a realiza prin sudare batiuri pentru prese, ciocane de forjă, maşini-unelte, utilaje metalurgice şi siderurgice, caje de laminare, de tragere, utilaje termo şi hidroenergetice, motoare cu ardere internă etc.

Materialele cu care se realizează construcţiile sudate enumerate mai sus sunt: table groase, profile laminate din oţeluri calmate sau cu granulaţie fină precum şi din elemente turnate sau forjate cu un conţinut mic de carbon. Batiurile sudate se pot realiza prin următoarele sisteme: reticular (din profile), cu plăci (tablă groasă), lamelar (pachete de table suprapuse sudate), cheson (secţiune cu gol interior cu contur închis) şi celular (secţiuni alăturate cu goluri interioare şi pereţi multipli). În funcţie de cerinţe batiurile se compun din piese sudate realizând formele următoare: coloană, pat, L, C, portal, U (răsturnat).

În deosebi batiurile se compun din coloane verticale (părţi orizontale), suporturi pentru agregate, masa de lucru şi placa de bază. Îmbinările plăcilor de bază se pot realiza după schema prezentată în figura 21.16.

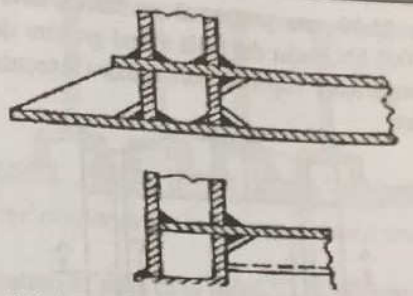


Fig. 21.16. Posibilităţi de îmbinare a pereţilor laterali cu placa de bază

Consolidarea părţilor de fixare ale plăcilor de bază pe fundaţie se poate realiza prin trei variante prezentate în figura 21.17.

Batiurile cu destinaţie pentru utilaje ce prelucrează plastic (prese, ciocane) trebuie să fie foarte robuste, cu rigiditate mare. Pentru preluarea şocurilor şi a vibraţiilor sunt necesare alegerea unor soluţii constructive adecvate în acest scop. La presele hidraulice unde vibraţiile sunt reduse se recomandă forma constructivă din figura 21.18 unde avem de-a face cu un batiu pentru o presă hidraulică de 1500 kN.

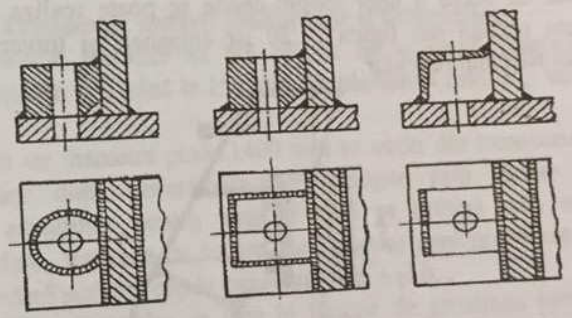


Fig. 21.17. Consolidarea părţilor de fixare a plăcii de bază pe fundaţie

Presa este alcătuită din două coloane U (profile) unite prin intermediul plăcilor transversale inferioare şi superioare din table de 35 mm. Coloanele se sprijină pe placa de bază construită din tablă de 35 mm prin sudare. Masa de lucru de o grosime de 60 mm se sprijină tot pe placa de bază prin intermediul unui sistem celular. În cazul batiurilor preselor mecanice la care forţele dinamice şi vibraţiile sunt mai mari pot fi utilizate plăci de oţel cu grosimi de 30-150 mm, tăiate termic la dimensiunile şi formele impuse.

În figura 21.19 este prezentată realizarea unui batiu de ciocan pneumatic de 10000 kN, sudat din tablă având grosimi de 20 – 30 mm. Se vede în partea superioară suportul port-cilindru executat prin turnare şi îmbinat prin sudare.

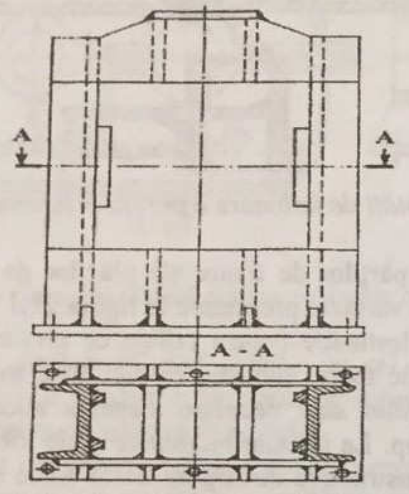


Fig. 21.18. Batiul sudat al unei prese hidraulice de 1500 kN

Masa de lucru a unor maşini-unelte se poate realiza în sistemul celular, cum rezultă din figura 21.20 iar coloanele şi traversele se pot executa şi în sistemul reticular.

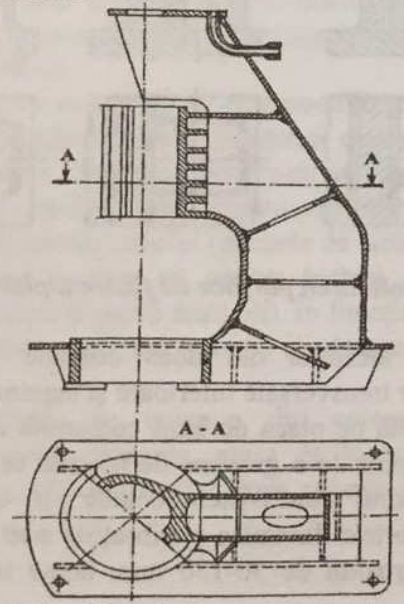


Fig. 21.19. Batiul sudat al unui ciocan pneumatic de 10000 kN

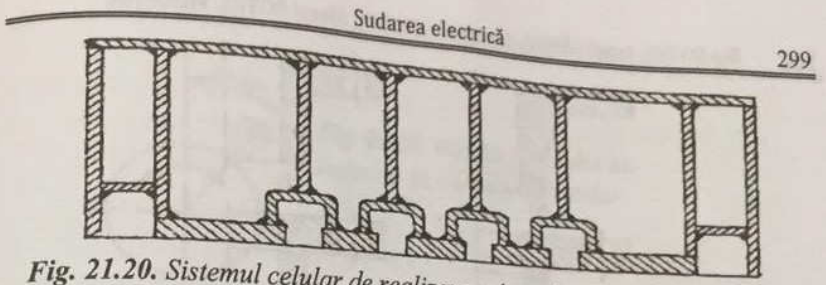


Fig. 21.20. Sistemul celular de realizare prin sudare a unei mese de lucru

Ghidajele batiurilor arată ca în figura 21.21 realizate prin TCS.

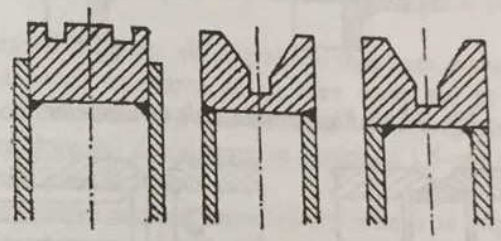


Fig. 21.21. Sudarea ghidajelor pe batiurile maşinilor-unelte

21.7. Tehnologia sudării conductelor şi fitingurilor

Conductele metalice se pot realiza într-o gamă foarte mare de diametre. Obţinem ţevi până la 150 mm din platbandă roluită şi sudată după generatoare.

Ţevile cu diametre peste 1400 mm se obţin din tronsoane de tablă roluită, sudate după generatoare şi prelungite prin sudare circulară. Conductele asamblate pentru lungimi mari se îmbină prin intermediul flanşelor sudate. Variante de sudare ale flanşelor sunt prezentate în figura 21.22. Se preferă sudarea cap la cap, variantele a şi b.

Pregătirea rosturilor se face în funcţie de grosimea pereţilor şi al altor parametri (rosturi I, V, X, Y).

Sudarea rădăcinii are o deosebită importanţă, motiv pentru care i se acordă o atenţie deosebită. Aceasta se realizează prin curăţirea şi resudarea pe partea opusă a rădăcinii.

Urmează structuri multiple înguste. În cazul accesului pe o singură parte, rădăcina se sudează pe suport inelar fuzibil (fig. 21.23,a), pe suport nefuzibil din cupru (fig. 21.23,b), pe inserţii în formă de ciupercă (fig. 21.23,c) sau pe rost deformat plastic spre interior (fig. 21.23,d) cu rădăcină prelucrată mecanic după sudare.

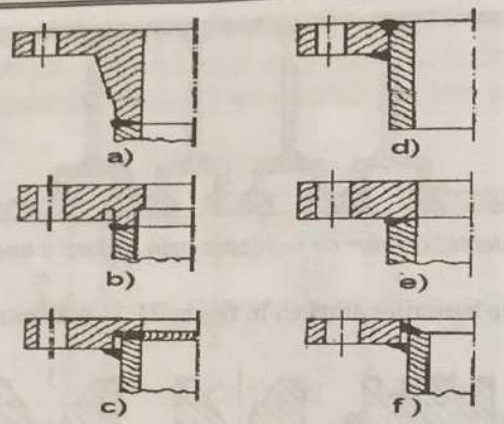


Fig. 21.22. Flanşe sudate ale conductelor

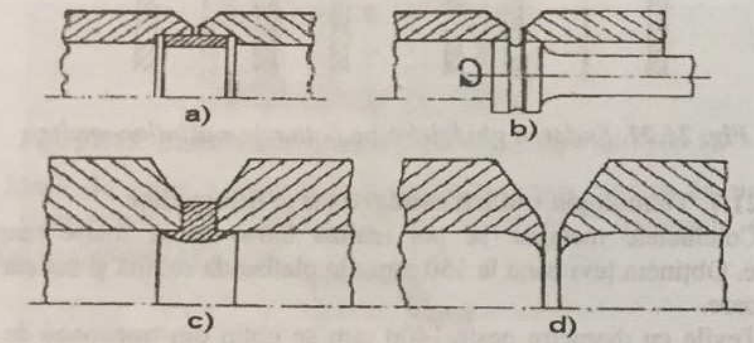


Fig. 21.23. Posibilităţi de realizare a rădăcinii sudurii la îmbinarea conductelor

Sunt construite instalaţii de sudare MIG-MAG, cu arc pulsator pentru sudarea în condiţii de şantier a ţevilor. Instalaţia deţine un tractor de sudare care se roteşte pe o cale de rulare sub formă de lanţ amplasat pe circumferinţa conductei.

Reglarea parametrilor de sudare se face în funcţie de diametrul ţevii şi grosimea ţevii. În cazul în care avem instalaţia de rotire a ţevii se pot aplica procedee MIG şi MAG cu arc normal şi cu dispunere a pistoletului într-o poziţie decalată în sens invers sensului de rotire a ţevii cu un unghi de $30\text{-}45^0$ faţă de axa verticală, (fig. 21.24).

Dacă ţevile au acelaşi diametru interior, este posibilă asamblarea lor cap la cap atunci când diferenţa de grosime respectă condiţia:

$$g_2 - g_1 \leq 0{,}15 g_1,$$

(g_1 şi g_2 sunt grosimile pereţilor ţevilor ce se sudează).



Fig. 21.24. Poziţia pistolului la sudarea în CO_2 a conductelor

Dacă diferenţa grosimilor este mai mare, capătul ţevii cu perete mai gros se va prelucra mecanic până la grosimea celui mai mic pe o lungime de $2{,}5\ g_1$.

Dacă există diferenţe ale diametrelor interioare, sudarea ţevilor este posibilă numai după calibrarea pe un dorn conic sau pe strung pentru lărgirea ţevii cu diametrul mai mic. Se admite o diferenţă de diametru de 1 mm. Utilizarea dornului de calibrare cu conicitate 1:5 este permisă pentru ţevi cu diametrul până la 50 mm.

Poziţia relativă necesară îmbinării elementelor se asigură prin suduri de agrafare la lungimi de 20...25 mm dispuse la distanţe egale pe circumferinţă. Distanţa maximă dintre sudurile de agrafare nu va depăşi 200 mm. Numărul minim de suduri de agrafare este 3. Pe lângă agrafare se folosesc pentru fixarea relativă a pieselor dispozitive speciale. O problemă deosebită o ridică realizarea prin sudare a conductelor şi a coturilor din table subţiri. Această problemă se rezolvă prin desfăşurarea geometrică a suprafeţelor, care prin revenire arată aspectul spaţial al elementului (vezi figura 21.25) geometria descriptivă – desfăşurarea suprafeţelor riglate. În figura 21.26 este redată sub formă simplă desfăşurarea (croirea) unui cot din segmente componente.

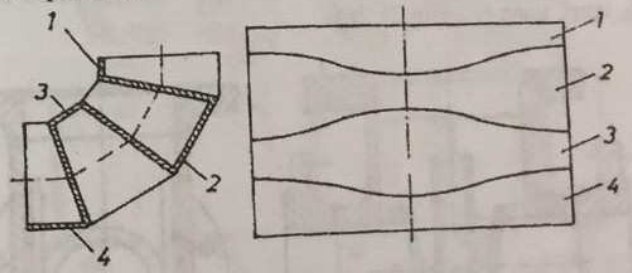


Fig. 21.25. Croirea economică şi realizarea unui cot sudat

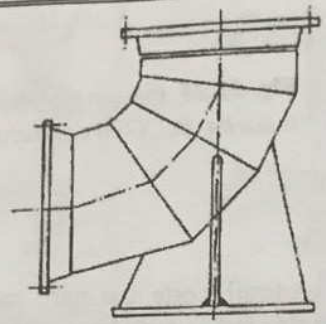


Fig. 21.26. Cot sudat sprijinit pe suport metalic

În general conductele sudate din tablă cu grosime redusă sunt sudate pe suporturi (fig. 21.27,a). Conductele dacă sunt lungi şi sunt supuse la variaţii de presiune şi temperatură, suferă deformaţii care vor fi preluate prin intermediul „lirelor" şi a compensatoarelor (fig. 21.27, b).

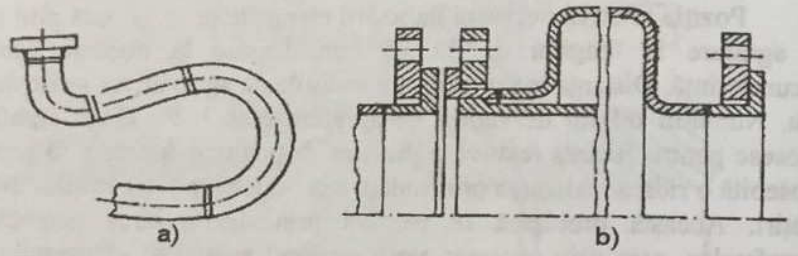


Fig. 21.27. Elemente ale conductelor care preiau deformaţiile

Realizarea componentelor conductelor prin TCS este deosebit de avantajoasă, înlocuind piesele turnate sau forjate. Aceste piese sunt: coturi, robineţi, teuri, vane etc, (fig.21.28).

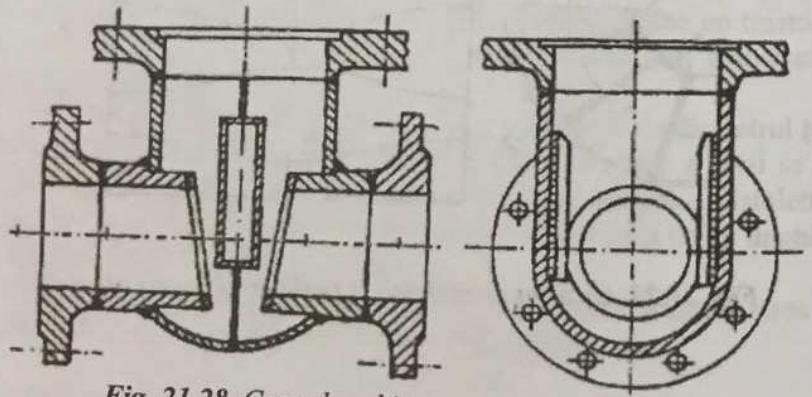


Fig. 21.28. Corp de robinet executat prin sudare

Din cele tratate până acum rezultă că înlocuirea pieselor turnate sau deformate plastic cu TCS prezintă avantaje importante:

- soluţii constructive avantajoase;
- investiţii minime.

21.8. Tehnologii de execuţie ale recipientelor sudate

Recipientele se execută mai frecvent prin TCS. Elementele utilizate sunt tablele plane sau rulate. Construcţiile din tablă se pot împărţi în:

- rezervoare pentru depozitarea lichidelor şi gazelor neinflamabile fără toxicitate la o presiune $P < 0{,}5 \cdot 10^5$ Pa şi o temperatură $T < 100^0$C;
- recipiente, rezervoare, cisterne, cazane, coloane, schimbătoare de căldură care funcţionează la parametri severi de funcţionare.

Recipientele care funcţionează la temperaturi de câteva sute de grade se execută din oţeluri termorezistente (Cr – Mo, Cr – Mo - V) precum şi din oţeluri refractare (oţeluri Cr, Cr – Si, Cr – Mo, Ni – Nb, Cr – Mo – V – W ş.a.).

Procedeele de sudare pentru executarea acestor recipienţi sunt: cu electrozi înveliţi, sub strat se flux, în baie de zgură, cu plasmă, MIG, MAG. Elementele componente ale acestor construcţii trebuie proiectate în aşa fel, ca solicitările să fie repartizate cât mai favorabil cordoanelor de sudură.

Trebuie să se urmărească ca sudarea fundurilor să se realizeze cap la cap (fig. 21.29,a, b, c, d) şi mai rar în colţ (fig. 21.29, f, g, h, i).

Soluţiile cele mai avantajoase sunt prezentate în figurile 21.29, b şi c, destinate presiunilor foarte ridicate (până la 2000 N/cm^2).

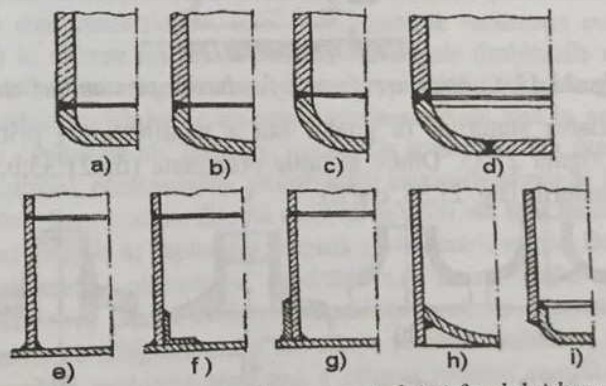


Fig. 21.29. Îmbinarea prin sudare a mantalei şi fundului la recipiente

În figura 21.30 sunt prezentate câteva tipuri de ştuţuri în ce priveşte modul de fixare pe suprafeţele cilindrice, iar în figurile 21.31 şi 21.32 sunt prezentate procedee de fixare şi sudare a ştuţurilor şi a fundurilor recipientelor pe standuri cu role.

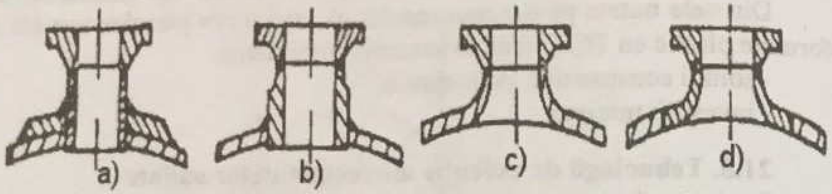


Fig. 21.30. Tipuri de fixare a ştuţurilor pe corpurile cilindrice: a – în interior cu inel de rigidizare; b – în interior cu perete îngroşat; c – cap la cap cu guler format din corpul de oţel carbon cu $s \leq 16$ mm; d – cap la cap cu guler intermediar matriţat

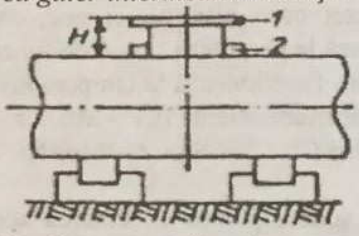


Fig. 21.31. Fixarea şi sudarea ştuţurilor de manta pe un stand cu role; 1 – ştuţul cu flanşe; 2 – plăci de reazem pentru fixarea ştuţului după trasaj

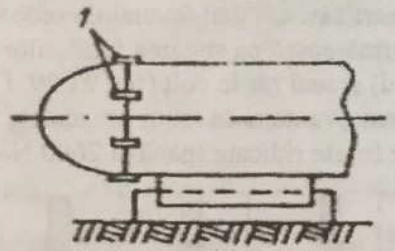


Fig. 21.32. Centrarea şi fixarea fundurilor pe standuri cu role

Sudarea ştuţurilor (a ţevilor sau a ramificaţiilor) prin TCS este arătată în figura 21.33. Dintre soluţiile prezentate (fig.21.33,b, c, d), sunt preferate sudurile (fig. 21.33, c şi d).

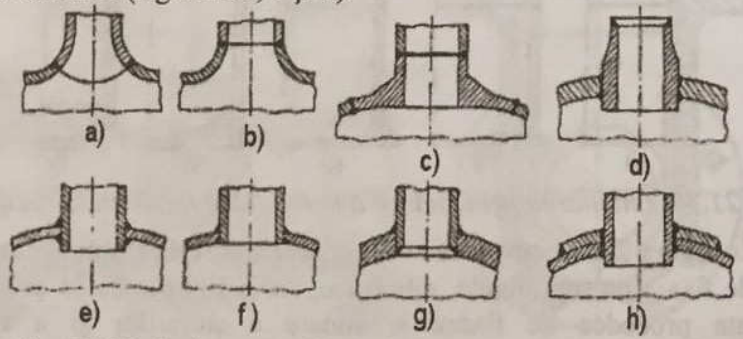


Fig. 21.33. Sudarea ţevilor colectoare sau a ramificaţiilor

Capitolul 22

CALITATEA SUDURII. DEFECTELE SUDURII ŞI VERIFICAREA CALITĂŢII SUDURII

22.1. Factorii calităţii sudurii

Indicii calităţii. Calitatea producţiei (GOST 15467-70) este totalitatea de proprietăţi ale producţiei care asigură posibilitatea de a îndestula anumite necesităţi în corespundere cu destinaţia ei. Indicii calităţii îmbinărilor sudate se determină cu ansamblul următoarelor proprietăţi: rezistenţa, siguranţa, lipsa defectelor, structura metalului cusăturii şi a zonei influenţate termic (ZIT), rezistenţa la uzură, numărul şi caracterul corectării ş.a. (fig. 22.1).

Siguranţa este particularitatea fabricatului de a executa funcţiile stabilite, păstrând indicii săi de exploatare în limitele prescrise în intervalul stabilit de timp sau duratei stabilite de funcţionare. Deseori siguranţa se determină ca proprietatea îmbinării de a-şi păstra capacitatea de funcţionare în timpul exploatării.

Metalul de bază în procesul de sudare ca regulă, nu-şi păstrează proprietăţile iniţiale. De aceea, pentru evaluarea indicilor de calitate sau siguranţă a îmbinărilor sudate este raţional de studiat particularităţile de schimbare ale lor până la exploatare şi în procesul de executare. Utilizând în continuare termenul „siguranţă", vom constata, că îmbinarea sudată poate fi realizată sau cu siguranţă egală cu siguranţa metalului de bază, sau mai mică decât siguranţa metalului de bază.

Pentru construirea, fabricarea şi exploatarea corectă a ansamblului este necesar de ştiut caracteristicile mecanice ale materialelor (îmbinărilor sudate), din care ele sunt confecţionate, adică caracteristicile rezistenţei materialelor (îmbinărilor) în diferite învoieli. De aceea, materialele (îmbinările sudate) se supun încercărilor mecanice pentru evaluarea proprietăţilor lor mecanice.

La stabilirea felului de încercare este necesar de luat în consideraţie condiţiile de exploatare ale îmbinării sudate. De aceste condiţii depinde tipul refuzului dominant, corespunzător probabilităţii maximale atinse de îmbinare a stării limitative. Sunt posibile diferite variante de uzuri sau stări limitative, care limitează posibilităţile de exploatare normală ale îmbinării sudate. De exemplu: pierderea rezistenţei, plasticităţii, rigidităţii ş.a. Există multe metode de încercări destructive pentru evaluarea capacităţii portante a construcţiei sau îmbinării sudate cu atingerea uneia din stările posibile limitative, (fig. 22.2). Dacă este posibilă evaluarea simultană a câtorva refuzuri posibile legate cu utilizarea încercărilor, care într-o măsură maximală ar reflecta învoielile de exploatare, ar fi foarte excelent.

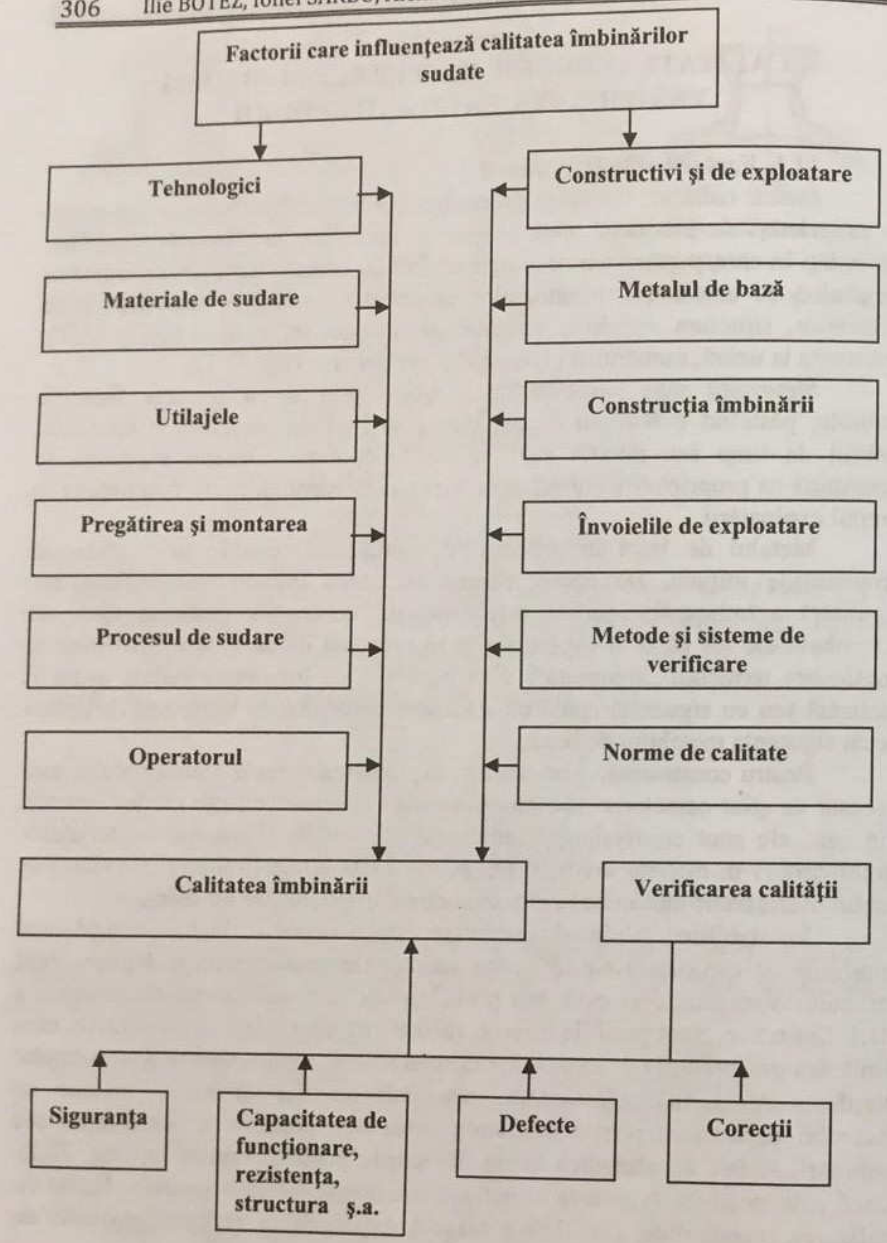


Fig. 22.1. Indicii calităţii îmbinărilor sudate

Valoarea pierderilor productive a calităţii sau siguranţei îmbinărilor sudate poate fi evaluată în baza rezultatelor verificării nedistructive a calităţii pe două căi:

- evaluarea indicatorilor capacităţii de funcţionare a îmbinării;
- determinarea nivelului de impurificare a îmbinării cu defecte.

Corespunzător cu metoda de formare a calităţii îmbinărilor sudate, descrisă mai sus, se pot prezenta două funcţii ale controlului calităţii: preventiv (tehnologic) şi final.

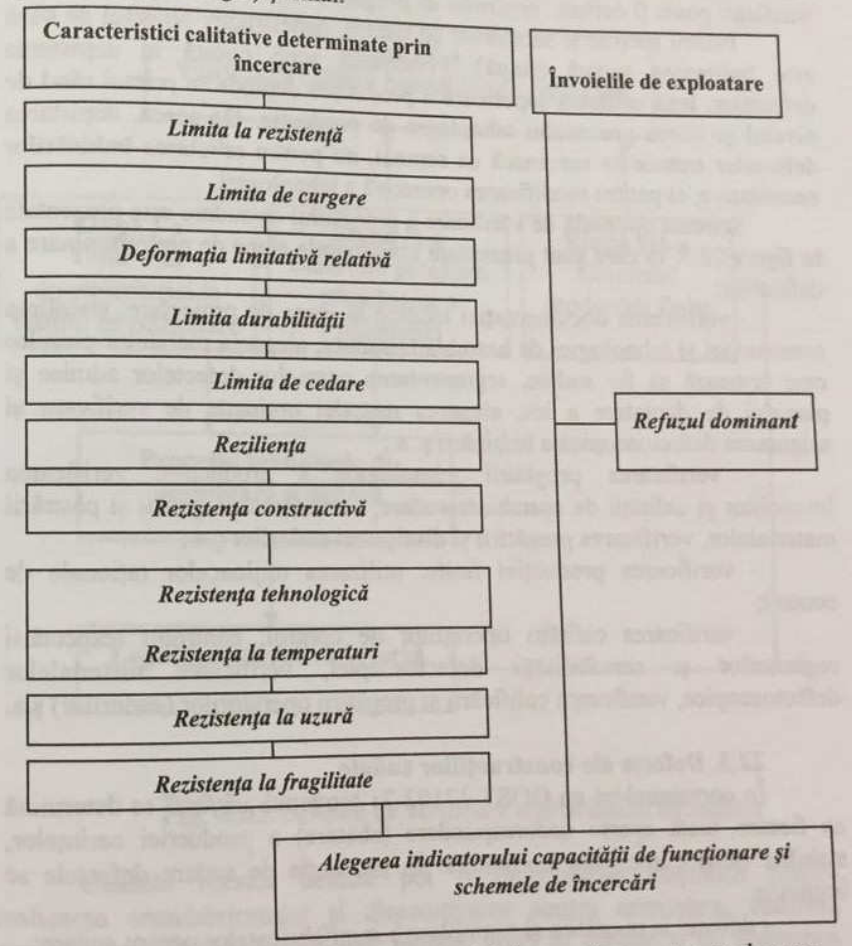


Fig. 22.2. Metode de încercări destructive pentru evaluarea capacităţii portante a construcţiei

22.2. Defectele constructive şi tehnologice ale îmbinărilor sudate

Dirijarea cu calitatea sudurii prevede verificarea tuturor factorilor, de care depinde calitatea îmbinării. Calitatea îmbinărilor sudate este influenţată de mulţi factori, care pot fi grupaţi în constructivi şi tehnologici (fig. 22.1).

Serviciul şi sistemul de verificare nemijlocită în procesul de sudare trebuie să prevadă controlul factorilor tehnologici principali: materialele iniţiale, procesul tehnologic, utilajele utilizate etc. Acest complex de verificări poate fi definit: *controlul de pregătire tehnologică a producţiei.*

Pentru secţiile şi sectoarele de control nedestructiv obiectul de bază este îmbinarea sudată (finită). Principalul scop constă în depistarea defectelor. Însă calitatea superioară a producţiei depinde în primul rând de nivelul şi starea procesului tehnologic de producţie. De aceea, depistarea defectelor trebuie să servească ca semnal, nu pentru rebutarea îmbinărilor necalitative, ci pentru modificarea operativă a tehnologiei.

Schema optimală de verificare a procesului de sudare este prezentată în figura 22.3, în care sunt prezentate următoarele etape de preîntîmpinare a defectelor:

- verificarea documentaţiei tehnice la etapa de proiectare: stabilirea construcţiei şi tehnologiei de asamblare–sudare, alegerea metalului pieselor care urmează să fie sudate, argumentarea normelor defectelor admise şi planului de depistare a lor, alegerea metodei optimale de verificare şi asigurarea defectoscopică a îmbinării ş. a.;
- verificarea pregătirii tehnologice a producţiei: verificarea învoielilor şi calităţii de asamblare-sudare, verificarea pregătirii şi păstrării materialelor, verificarea pregătirii şi disciplinei sudorilor ş.a.;
- verificarea producţiei finite: utilizarea mijloacelor raţionale de control;
- verificarea calităţii operaţiilor de control: controlul respectării regimurilor şi sensibilităţii defectoscopiei, verificarea materialelor defectoscopice, verificarea calificării şi pregătirii operatorilor (sudorilor) ş.a.

22.3. Defecte ale construcţiilor sudate

În corespundere cu GOST 17102-71 termenul „*defect*" se determină ca fiecare luată aparte necorespundere (abatere) a producţiei cerinţelor, stabilite de documentaţia normativă. În producţia de sudare defectele se împart în:

- defecte la pregătire şi asamblare a semifabricatelor pentru sudare;
- defecte de sudare.

Defectele de sudare pot fi exterioare (defecte a formei cusăturii) sau superficiale şi interioare. Defectele interioare, la rândul său, pot fi defecte macroscopice sau defecte structurale. Defectele de pregătire şi asamblare ale pieselor pentru sudare deseori provoacă apariţia defectelor de sudare. De

aceea procesul de pregătire a pieselor pentru sudare este verificat minuţios.

Defecte de pregătire şi asamblare a pieselor pentru sudare. Cele mai răspândite defecte de acest fel la sudarea prin topire sunt: unghiul incorect de înclinaţie a muchiilor cusăturilor în V, U şi X, tăierea prea mare sau prea mică în lungime a muchiilor pieselor îmbinate, instabilitatea jocului dintre muchii (capete), necoincidenţa suprafeţelor muchiilor pieselor îmbinate, stratificarea şi murdării pe muchii ş.a.

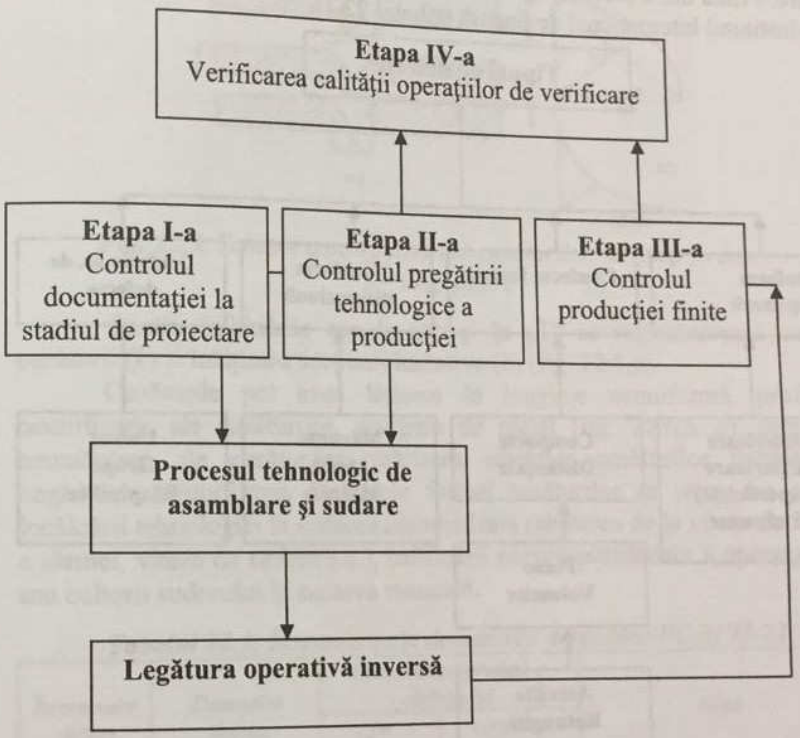


Fig. 22.3. *Schema de verificare a procesului de sudare*

Cauzele acestor defecte pot fi defecţiunile maşinilor pentru realizarea semifabricatelor şi dispozitivelor pentru asamblare, calitatea necorespunzătoare a materialelor iniţiale, erori în desene şi de asemenea calificarea şi cultura muncii operatorilor. Corectitudinea asamblării se verifică cu vizionarea exterioară şi măsurări cu dispozitive şi şabloane.

22.4. Clasificarea defectelor conform felului şi tipurilor

Cea mai răspândită clasificare a defectelor de sudare după tipul lor este prezentată în figura 22.4.

Este importantă de asemenea clasificarea defectelor de sudare conform naturii lor, care se referă la metoda corespunzătoare de sudare.

Defectele determinate cu aparate radiografice se înseamnă cu două litere. Prima literă prezintă tipul defectului, a doua - felul defectului, stabilit de Institutul Internaţional de Sudură (tabelul 22.1).

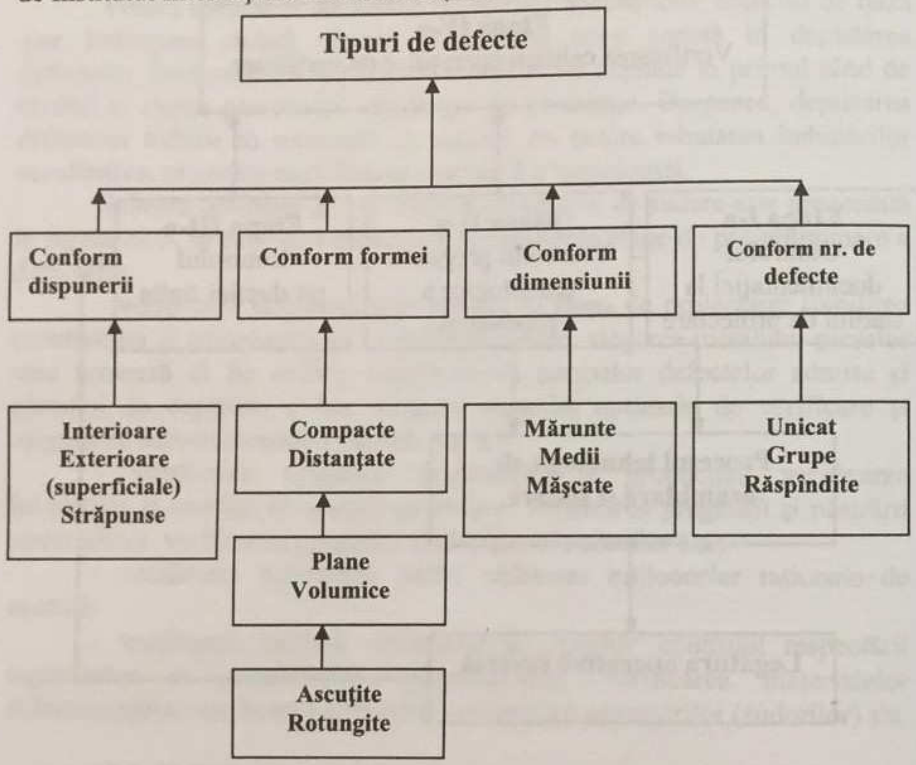


Fig. 22.4. Clasificarea defectelor conform tipurilor lor

Conform caracterului tehnologic defectele se împart în:
- incluziuni de gaze (pori);
- particule dure (zgură, metale);
- lipsă de topire;
- sudură nepătrunsă (incompletă);
- forma incorectă a cusăturii ş.a.

Defecte exterioare. Forma şi dimensiunile cusăturilor, ca regulă, depind de grosimea materialului sudat. Ele sunt ca cerinţe tehnice şi sînt

indicate pe desenele tehnice. La sudarea prin topire se reglementează: lăţimea cusăturii (b), înălţimea cusăturii (h) şi metalul scurs (h_1) (fig. 22.5,a).

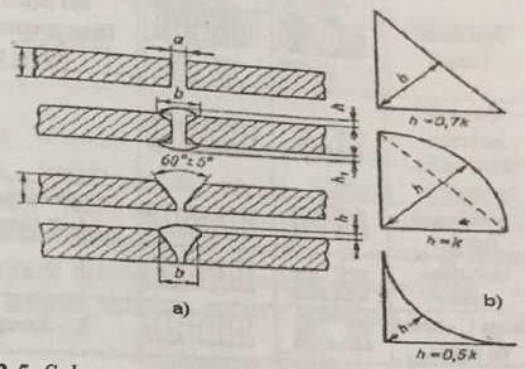


Fig. 22.5. Scheme constructive ale cusăturilor: a – cap la cap; b – unghiulare

Pentru îmbinările cap la cap şi în „T" se reglementează cateta cusăturii (k) şi înălţimea secţiunii lucrative (h) (fig. 22.5,b).

Cusăturile pot avea lăţimea în lungime neuniformă, profiluri neuniforme ale cusăturilor, scurgere de metal (fig. 22.6,a...c), profiluri neuniforme ale cusăturilor, mărimea catetelor cusăturilor îmbinărilor unghiulare neuniforme. Defectele formei cusăturilor se ivesc din cauza încălcării tehnologiei la sudarea automatizată (abaterea de la viteza de avans a sârmei, viteza de sudare ş.a.), calificării necorespunzătoare a operatorului sau culturii sudorului la sudarea manuală.

***Tabelul 22.1.** Însemnarea şi denumirea defectelor PC 2192-72*

Însemnare defect	*Denumire defect*	*Prezentarea grafică a defectului*		*Notă*
		pe tăietură	*conform radiogramei*	
Aa	Grupa A-pori (incluziuni de gaze), pori sferici			-
Ab	Pori alungiţi			Lungimea mai mare decît trei lăţimi maximale. Dimensiunea principală este îndreptată în adîncul cusăturii.
Ac	Lanţ de pori			Minimum patru pori în rînd sau în grupă la distanţă mai mică de trei diametre a porului maximal

Tabelul 22.1(continuare)

Ad	Grupă de pori			-
Ae	Pori liniari (lungi)			Lungimea mai mare decît trei lăţimi maximale. Dimensiunea principală în lungul cusăturii.
Ba	Grupa B- incluziuni dure, zgură compactă			-
Bb	Zgură liniară (lungă)			Lungimea mai mare de trei ori decît lăţimea maximală.
Bc	Incluziuni metalice			-
	Grupa C –lipsa de topire			R – direcţia iradierii
C	Lipsa de topire			-
Da	Grupa D –lipsa de pătrundere. Sudura nepătrunsă în rădăcina cusăturii			-
Db	Sudura nepătrunsă în cusătură dintr-o parte cu tăietură		+	-
Dc	Sudura nepătrunsă din două părţi ale cusăturii			-
Ea	Grupa E – crăpături Crăpătură longitudinală			-
Eb	Crăpătură transversală			-
Ec	Crăpătură radială			-
Fa	Grupa F – forma incorectă ş.a. defecte Depunere mare la rădăcină			-

Tabelul 221. (continuare)

Fb	Neregularitate a cusăturii			-
Fc	Muşcături			-

Forma incorectă a cusăturii (cordonului), în particular, întăriri considerabile, treceri bruşte de la cusătură la metalul de bază, neuniformitatea înălţimii pot considerabil micşora capacitatea de funcţionare a îmbinării, mai ales la sarcini dinamice şi vibraţionale. Unele defecte exterioare deseori sunt prezentate ca superficiale. La ele se referă muşcăturile, arsurile, suflurile, craterele nesudate ş.a.

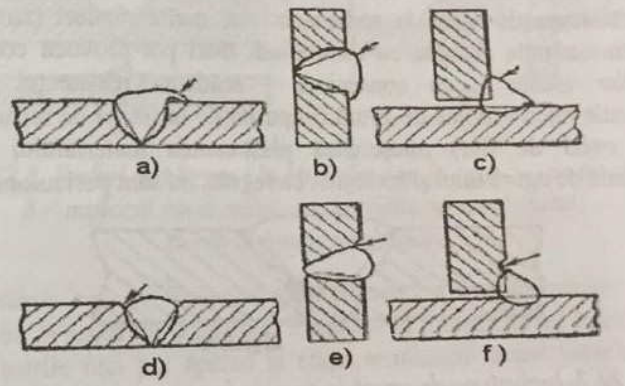


Fig. 22.6. *Defecte exterioare: a...c - scursuri de metal, d...f - muşcături*

Cavităţile (fig. 22.6, d...f) prezintă nişte adâncituri în metalul de bază aşezate la marginile cusăturii. Ele se formează la sudarea cu curenţi şi tensiuni înalte.

Cavităţile micşorează secţiunea de lucru a cusăturii, provoacă concentrarea tensiunilor şi pot conduce la deteriorarea cusăturilor din cauza apariţiei crăpăturilor la marginile cusăturii. Craterele se formează la stingerea arcului şi rămân în formă de adâncituri. Ele micşorează secţiunea de lucru a cusăturilor, micşorează rezistenţa lor şi rezistenţa la coroziune. Craterul deseori prezintă un focar de apariţie a fisurilor.

Arsurile se formează de la energia liniară prea mare, viteza de sudare neuniformă etc.

Suflurile deseori se dezvoltă din porii alungiţi. Suflura pătrunde la suprafaţa cusăturii.

Aceste defecte superficiale uşor se depistează cu vizionarea ansamblurilor sudate şi pot fi corectate prin sudare, dacă corectarea nu aduce mai multă daună decât singur defectul.

Existenţa defectelor exterioare, ca regulă, semnalizează despre existenţa defectelor interioare.

Defecte interioare. Incluziunile de gaze (porii) se formează la suprasaturaţia băii de sudură cu gaze datorită impurificării muchiilor pieselor de sudat, arcului lung, umidităţii învelişurilor electrozilor, fluxurilor, impurităţilor gazelor de protecţie ş.a. Dimensiunile porilor diferă de la micrometri până la 2...3 mm în diametru. Porii micşorează rezistenţa şi densitatea cusăturilor sudate. În cantităţi mici porii nu influenţează capacitatea de funcţionare a îmbinării.

Incluziunile de zgură apar, ca regulă, la curăţirea nesatisfăcătoare a rosturilor de calamină, coroziune şi cel mai frecvent la curăţarea nesatisfăcătoare de zgură la sudarea în mai multe rânduri (straturi) (fig. 22.7). Incluziunile ascuţite cu dimensiuni mari pot provoca concentrarea tensiunilor locale şi ca consecinţă – scăderea rezistenţei îmbinării. Incluziunile microscopice de zgură (impurităţile în formă de nitruri, fosfaţi, sulfuri, oxizi de fier) micşorează plasticitatea materialului cusăturii. Incluziunile de zgură mici şi rotunjite, ca regulă, nu sunt periculoase.

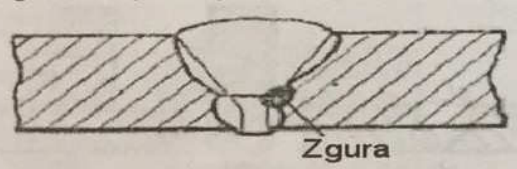


***Fig. 22.7.** Incluziune de zgură la muchie între straturile (rândurile) cusăturii cu două rânduri*

Incluziunile metalice se formează la sudarea cu flacără în mediu de argon cu electrod nefuzibil şi ca regulă, constau din particule de wolfram.

Sudura nepătrunsă prezintă suprafeţe nesudate de mărimi considerabile, la atingerea suprafeţelor metalului de bază cu cordonul sudat (metalul topit) sau neumplerea cu metal topit a rostului în secţiunea cordonului.

Deosebim sudură nepătrunsă pe muchii (fig. 22.8, a), în secţiune şi la rădăcina cusăturii (fig. 22.8,b, c, d). Sudura nepătrunsă se formează din cauza muchiilor rosturilor murdare, pregătirii incorecte a rosturilor, regimurilor de sudare incorecte sau instabile etc.

Sudarea nepătrunsă micşorează capacitatea de funcţionare din cauza slăbirii secţiunii portante a cordonului şi de asemenea în unele cazuri, creează concentrarea tensiunilor în cusătură.

Fisurile (crăpăturile) se consideră cele mai periculoase defecte ale

sudurii. Ele pot fi micro- şi macroscopice, iar în dependenţă de proveniență - la cald şi la rece.

Fisurile calde se formează în procesul solidificării metalului, ca consecinţă a micşorării bruşte a plasticităţii metalului în acest interval de temperaturi şi creşterea deformaţiilor de tracţiune.

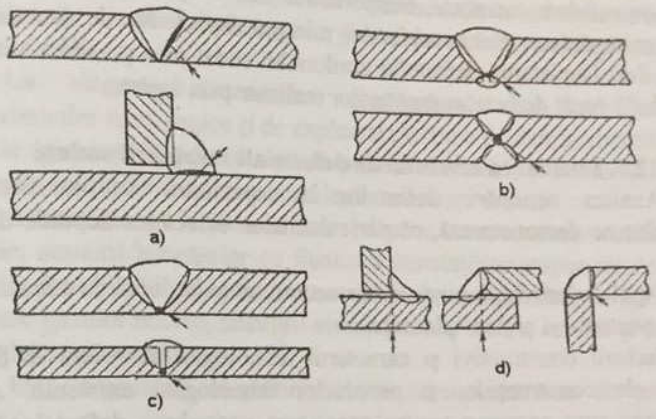


***Fig. 22.8.** Suduri nepătrunse în îmbinări cap la cap: a – pe muchie; b – mijlocul cordonului; c – la rădăcina cordonului; d – în îmbinări unghiulare*

Fisurile reci se formează ca consecinţă a transformărilor de faze, care conduc la scăderea rezistenţei metalelor şi intensificarea tensiunilor de sudare. Fisurile reci pot apărea la etapa terminării răcirii pieselor sau în timpul păstrării construcţiilor sudate un timp oarecare după sudare.

Uneori fisurile se dezvoltă în timpul exploatării ca consecinţă a deschiderii microfisurilor de sudare şi de asemenea la apariţia deteriorării (distrugerii) metalului de la muşcături cauzate de suduri nepătrunse, incluziuni de zgură şi a altor defecte.

Fisurile pot fi longitudinale şi transversale. Ele pot fi dispuse în metalul cusăturii sau în zona influenţată termic.

Fisurile datorită periculozităţii sale sunt defecte neadmise. Îmbinările sudate cu fisuri, ca regulă, se repară.

Sudurile nepătrunse sunt defecte periculoase, greu de depistat cu mijloacele de defectoscopie actuale. Acest defect se întâlneşte mai frecvent la sudarea cu flacără în mediu de argon a aliajelor de aluminiu şi magneziu şi de asemenea la sudarea cap la cap în puncte.

Toate defectele prezentate mai sus sunt frecvente la sudarea prin topire. Incluziunile de zgură, muşcăturile, lipsa de topire, craterele ş.a. la sudarea prin presiune lipsesc. Cele mai răspândite şi periculoase sunt

crăpăturile şi lipsa de topire.

La sudările cap la cap şi în relief prin presiune defectele tipice sunt: supraîncălzirea metalului, lipsa de topire, sudura nepătrunsă, porozitatea, crăpăturile circulare şi rectiliniare. Aceste defecte apar datorită nerespectării tehnologiei sudării (curent electric prea mare sau prea mic, presiunea şi viteza de refulare incorecte, temporizarea sub curent electric neoptimală etc). Aceste defecte pot considerabil micşora capacitatea de funcţionare a îmbinărilor. Depistarea defectelor cordonului sudat prin presiune este mult mai dificilă decât defectelor cusăturilor realizate prin topire.

22.5. Evaluarea nivelului de defecte ale îmbinării sudate

Analiza acţionării defectelor la capacitatea de funcţionare a îmbinărilor ne demonstrează, că periculozitatea defectelor depinde de tipul lor.

Tipul defectelor depinde de caracterul tehnologiei şi de asemenea de factorii constructivi şi de exploatare.

Factorii constructivi şi caracterul tehnologiei se referă la defecte concrete ale construcţiilor şi proceselor tehnologice existente. Aceste caracteristici sunt necesare pentru aprecierea pericolului defectelor numai dintr-o parte – din aspect de exploatare.

Din altă parte, existenţa defectelor în îmbinările sudate reflectă calitatea procesului tehnologic de sudare. Aspectul tehnologic de estimare a defectelor, împreună cu aspectul de exploatare, sunt foarte importante, fiindcă dirijarea activă cu calitatea este posibilă numai în baza evaluării şi reglării nivelului de impurificare a producţiei cu defecte.

Capitolul 23
TEHNICA SECURITĂŢII MUNCII LA EXECUTAREA SUDĂRII ELECTRICE

Sudarea manuală cu arc electric, sudarea sub strat de flux şi în gaze de protecţie, care au căpătat răspândire considerabilă în industrie se însoţesc de eliminarea intensivă de fum, gaze, praf şi de asemenea energie calorifică şi radiaţională.

La alegerea materialelor de sudare afară de evaluarea caracteristicilor tehnologice şi de exploatare trebuie de luat în consideraţie şi motivele igienice. În primul rând se preferă electrozii şi fluxurile, care se caracterizează prin eliminări minimale de substanţe toxice.

O mare atenţie la sudarea cu arc electric trebuie atrasă ventilaţiei prin aspiraţie, aerisirii buncărelor cu fluxuri a instalaţiilor staţionare de sudare, acoperirii învelişului de zgură, care se răceşte, neutralizării componentelor toxice ale gazelor nocive, stabilirii circulaţiei necesare a aerului şi instalarea ventilaţiei corespunzătoare.

Este importantă alegerea sticlelor corespunzătoare de protecţie a ochilor.

Sarcinile psihologice, care acţionează sudorul, constau în necesitatea de urmărire permanentă a zonei de sudare, în încordarea vederii, în cerinţele avansate de precizie a mişcării electrodului.

Realizarea sudării manuale deseori se însoţeşte de tensiuni statice avansate. Sudarea deseori se realizează în poziţii incomode: stînd culcat pe spate, pe burtă, pe o parte, în plafon, etc, ce conduce la tensiuni considerabile ale muşchilor mâinilor şi corpului.

Mecanizarea şi automatizarea proceselor de sudare permit micşorarea impurificării aerului în zona de lucru, instalarea dispozitivelor individuale de ventilaţie, folosirea îmbrăcămintei speciale din materiale uşoare, iluminaţia bună a locului de muncă a sudorului, utilizarea portelectrozilor, care nu se încălzesc timp îndelungat, care simplifică schimbarea electrozilor ş.a.

Sudarea în argon cu electrod nefuzibil este mai favorabilă din punct de vedere igienic faţă de sudarea cu electrozi înveliţi. La sudarea în mediu de argon cu electrod nefuzibil, conţinutul de praf în zona de sudare nu depăşeşte limita admisă, concentrarea manganului este de 10 ori mai mică decât limita admisă, iar oxizii de azot şi oxizii de carbon în zona arcului – lipsesc.

Învoielile de lucru la sudarea semiautomată sunt mai dificile decât la sudarea automată, datorită necesităţii reţinerii în mână a capului de sudat a semiautomatului cu buncăr pentru flux cu masa de 2...3 kg şi de asemenea în legătură cu tensionarea atenţiei pentru respectarea strictă a regimului de

sudare. Afară de aceasta, concentraţia substanţelor nocive, oxizilor de mangan, fluorurilor în zona de lucru este avansată. Despărţiturile şi cabinele preîntâmpină scurgerea gazelor nocive în secţie, unde sudarea nu se realizează. La sudarea cu utilizarea gazelor de protecţie pereţii cabinei nu trebuie să ajungă la podele la o distanţă de 300 mm. Suprafaţa liberă în cabina de sudare trebuie să fie nu mai mică de 3 m^2 la fiecare post de sudare. Pereţii şi utilajele trebuie să fie vopsite în culori deschise cu reflectarea dispersată a luminii pentru slăbirea contrastului dintre luminozitatea (strălucirea) arcului şi suprafeţele utilajelor şi pereţilor.

23.1. Măsuri de protecţie contra electrocutării

La trecerea curentului electric prin corpul uman sunt posibile afecţiunile unor organe sau a organismului în întregime. Tipurile principale de afecţiuni: arsuri de către arcul electric, şoc la atingerea cu conductorii electrici, ruperea ţesuturilor ş.a.

Cele mai periculoase sunt şocurile electrice. Ele se însoţesc de apariţia la om a convulsiilor, pierderii cunoştinţei, oprirea funcţiilor organelor respiratorii şi a circulaţiei sanguine.

Factorii care negativ acţionează la rezultatul electrocutării sunt puterea curentului electric, frecvenţa lui şi tensiunea, temperatura avansată a mediului ambiant, oboseala, starea bolnăvicioasă, tipul curentului electric (mai periculos este curentul alternativ cu frecvenţa de 50...60 Hz), durata de trecere a curentului electric ş.a.

În figura 23.1 sunt prezentate schemele posibile de introducere a muncitorului în circuitul electric. Cea mai periculoasă este atingerea la doi poli.

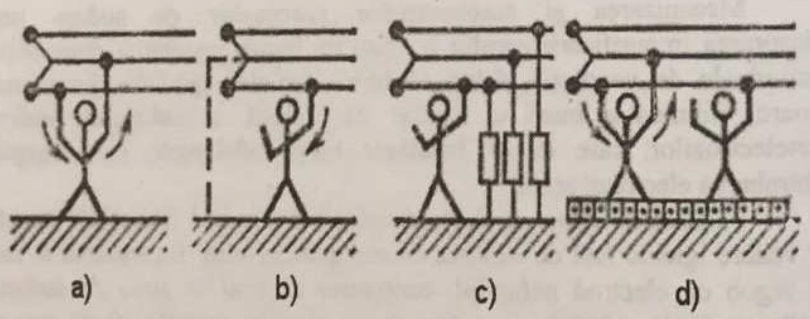


Fig. 23.1. Scheme posibile de introducere a omului în circuitul electric: a – atingerea la doi poli; b, c – atingerea la un singur pol; d – folosirea podelelor electroizolatoare

Pentru stabilirea nivelului de pericol, trebuie să ne orientăm nu la puterea curentului lipsită de pericol, dar la tensiunea fără pericol.

Tensiunea fără pericol în încăperi uscate, în conditii de lucru

normale, cu îmbrăcăminte şi încălţăminte în stare bună, este tensiunea de 36 V, iar în încăperi umede – 12 V.

Pericolul de electrocutare apare la atingerea de părţile conducătoare de curent ale instalaţiilor electrice şi cu părţile metalice, care întâmplător au nimerit sub tensiune. De aceea toate carcasele instalaţiilor de sudare, generatoarelor, motoarelor electrice, transformatoarelor şi ale altor utilaje neapărat trebuie să aibă priză de pământ.

Înfăşurarea secundară a transformatorului trebuie legată la pământ împreună cu carcasa metalică (fig. 23.2).

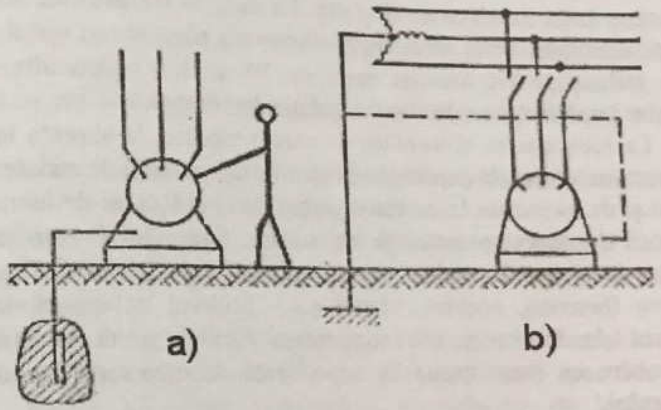


Fig. 23.2. Scheme de protecţie de electrocutare: a – priză de pământ; b – priză la nul

La mecanismele pentru punerea în circuit şi comutarea curentului electric carcasele trebuie să aibă priza la pământ. Integritatea prizei la pământ, sudorul o verifică sistematic prin vizionare.

Nu se permite lucrul cu instalaţiile de sudare fără verificarea lor la lipsa de scurtcircuit la carcasă şi integritatea cablului prizei la pământ.

Este necesar periodic de măsurat rezistenţa mecanismelor prizei la pământ (nu mai rar de odată pe an). Tensiunea mersului în gol a surselor de alimentare (curentului continuu şi alternativ) este periculoasă, când sudorul se atinge de suprafeţe metalice mari (cazane, cisterne, ţevi ş.a.). Pentru asigurarea lucrărilor fără pericole ale sudorului, instalaţiile se asigură cu dispozitive pentru cuplarea automată a lanţului electric la atingerea electrodului de piesa de sudat şi decontarea automată la mersul în gol. Este necesar de utilizat condensatori de siguranţă şi sisteme de deconectare a tensiunii la schimbarea electrozilor.

23.2. Tehnica securităţii muncii la sudarea cu arc electric

La sudarea cu arc electric sunt admişi sudorii cu pregătire corespunzătoare, care au certificat cu dreptul de a realiza tipul corespunzător

de lucrări de sudare şi au trecut instruire şi verificarea cunoştinţelor în domeniul tehnicii securităţii cu îndeplinirea formelor dintr-un registru special şi care au trecut controlul medical.

Nu se admite realizarea lucrărilor de sudare tinerilor cu vârsta sub 18 ani. Este interzis femeilor să realizeze lucrările de sudare electrică în spaţii închise (cazane, cisterne, bacuri ş.a.). Sudorilor nu li se permite racordarea în circuit, decuplarea de la circuit ale agregatelor de sudare electrică. Montarea şi repararea instalaţiilor electrice se permite numai electromontorilor cu pregătire specială. Sudorilor nu li se permite categoric să ajusteze lanţurile electrice de forţă. La sudarea manuală cu arc electric, lungimea cablului de la reţeaua de alimentare până la agregatul mobil de sudare trebuie să fie nu mai mare de 10 m. Nu se permite utilizarea cablurilor împletite şi cablurilor cu izolaţie deteriorată.

La întreruperea alimentării cu curent electric, la absenţa la locul de lucru a muncitorului, la depistarea defectului agregatului de sudare în timpul lucrului şi de asemenea la curăţarea agregatului şi locului de lucru, sudorul trebuie să deconecteze instalaţia de sudare. Sudorului îi este interzis să realizeze lucrările de sudare în apropierea materialelor inflamabile şi explozive (benzină, acetonă, alcool ş.a.). Sudorul trebuie să ştie să se folosească de mijloacele de stingere a focului şi să le utilizeze în corespundere cu prescripţiile în dependenţă de caracterul incendiului şi stingătorului.

În timpul lucrului sudorul este obligat să-şi acopere faţa cu mască sau cu cască dotate cu sticle de protecţie. Pentru protejarea pielii de arsuri sudorul trebuie să lucreze în îmbrăcăminte specială şi în mănuşi. Pentru protejarea de acţiunea arcului electric a muncitorilor din secţie, sudorul trebuie să lucreze într-o cabină specială sau să îngrădească locul de lucru cu bariere de protecţie. Muncitorii care se află la distanţa mai mică de 10 m, trebuie să lucreze în ochelari cu filtru de lumină. Buteliile cu gaze inerte au presiunea de 15 MPa. La utilizarea incorectă ele pot deveni explozive.

Buteliile trebuiesc protejate de lovituri reciproce, buteliile trebuiesc transportate în cărucioare speciale sau în brancarde, nu se permite transportarea buteliilor cu mâinile fiindcă, căderea întâmplătoare a butelii poate provoca răniri şi traume, iar explozia butelii de la lovitură poate avea urmări mai grave. La locurile de muncă buteliile se instalează în poziţie verticală şi se protejează de la cădere cu coliere sau lanţuri, este necesar de protejat buteliile de razele solare şi sursele de căldură, care pot provoca avansarea presiunii gazelor şi pericol de explozie.

Ventilul buteliei trebuie deschis lin, fără şocuri, cu mâna sau cu cheia cu mâner scurt. Dacă butelia nu poate fi deschisă cu mâna sau cu cheia cu mâner scurt, atunci ea se întoarce înapoi la depozit cu inscripţia „*defectă*". Buteliile se păstrează şi se transportă numai cu capacul de

protecţie înşurubat până la refuz.

Pentru micşorarea presiunii gazului, consumat din butelie, serveşte supapa de reducţie, care este vopsită cu culoarea atribuită convenţional gazului dat. Se permite utilizarea supapelor pneumatice de reducţie numai în stare de funcţionare. În timpul sudării cu arc electric deschis sar mulţi stropi de metal topit, care, în contact cu suprafeţele neprotejate ale corpului uman, produc arsuri. Pentru protejarea de arsuri sudorul trebuie să lucreze în îmbrăcăminte specială şi mănuşi din pânză de cort, acoperământ pe cap, cizme sau bocanci.

Picăturile de metal topit (stropi) sunt periculoase când pătrund în buzunare, mâneci, cizme, cutele îmbrăcămintei ş.a. De aceea, pantalonii nu se permite să se bage în cizme, scurta se îmbracă peste pantaloni, iar la sudarea peste cap se îmbracă mânecuţe din foaie de cort şi se leagă la mână.

23.3. Instrucţiuni de protecţia muncii la sudarea electrică sub strat de flux şi în baie de zgură

Acţiunea dăunătoare a razelor emise de arc este mult mai redusă, de asemenea, stropirea şi arcul electric poate apare numai la începutul operaţiei de sudare.

La sudarea automată şi semiautomată sub strat de flux şi în baie de zgură trebuie să se respecte măsurile de protecţia muncii specifice acestor procedee. Verificarea stării instalaţiilor, a cablurilor de legătură este obligatorie, având în vedere densităţile mari de curent cu care se lucrează.

Tăierea capătului sârmei electrod se va face cu un cleşte izolat. Ventilaţia locului de muncă trebuie să fie corespunzătoare, deoarece fondantul conţine substanţe toxice, se interzice ca sudorul să stea cu capul aplecat asupra zonei de sudare.

23.4. Instrucţiuni de protecţia muncii la sudarea în medii de gaze protectoare

La sudarea în medii de gaze protectoare se vor respecta instrucţiunile generale, cât şi cele specifice procedeului.

La sudarea în CO_2, acesta se împrăştie la locul de muncă şi are un efect de accelerare a respiraţiei, astfel încât sudorul inspiră un volum mai mare de aer. Accelerarea respiraţiei devine dăunătoare la o concentraţie de 1% CO_2 în atmosferă, fapt ce impune mărirea spaţiului de lucru pe un post neventilat la peste 300 m^3.

Un pericol deosebit prezintă CO care se degajă în urma disocierii CO_2. Ţinând cont că la un consum de circa 10-15 l/min de CO_2, se degajă în atmosferă circa 25-30 l/h de CO, care fiind mai greu decât aerul se aşează la nivelul podelei unde atinge concentraţia maximă, fapt ce impune ventilarea corespunzătoare şi evitarea sudării în poziţia culcat.

Buteliile de CO_2 se fixează în poziţie verticală şi se vor consolida cu bride fie pe perete, fie de sursa de sudare. La sudarea în medii de gaze inerte a aluminiului, cuprului şi aliajelor lor se degajă o cantitate mare de gaze toxice. Pentru evitarea bolilor profesionale, locul de muncă se ventilează corespunzător. La sudarea cuprului şi aliajelor sale (alamele) se recomandă utilizarea măştilor de gaze.

Buteliile cu gaz trebuie să fie vopsite corespunzător (CO_2 – negru, Ar - maro). Temperatura de depozitare a buteliilor nu va depăşi 35°C. Manipularea buteliilor se va face fără lovituri şi şocuri puternice.

La terminarea lucrului se vor închide robinetele cu ventil ale tuburilor. Deschiderea buteliilor de CO_2 se face numai după ce încălzitorul a fost conectat cu cca. 15 minute înainte, pentru evitarea îngheţării CO_2.

Fixarea capetelor furtunelor se va face prin coliere metalice.

23.5. Instrucţiuni de protecţia muncii la sudarea şi tăierea cu plasmă

Se vor respecta toate normele în vigoare de tehnica securităţii muncii prescrise pentru sudarea electrică prin topire şi cele pentru manipularea şi exploatarea tuburilor cu gaz sub presiune.

Bioxidul de azot în combinaţie cu oxigenul este toxic, irită căile respiratorii şi provoacă intoxicări, iar protoxidul de azot inspirat în cantităţi mari atacă sistemul nervos. Se recomandă să se lucreze în spaţii bine ventilate sau la aer liber. Pentru protecţia contra tensiunilor foarte ridicate (de ordinul kV), cablurile instalaţiei electrice pentru echipamentele de tăiere şi sudare cu plasmă trebuie să fie perfecte şi se vor verifica periodic.

La tăierea cu plasmă se recomandă folosirea cărucioarelor pentru deplasarea capului de tăiere.

23.6. Instrucţiuni de protecţia munci generale

Se vor respecta toate instrucţiunile generale.

Se interzice sudarea când circuitul de răcire cu apă a echipamentului nu este etanş şi pot apare scurgeri de apă. La echipamentele pentru sudarea cap la cap prin topire intermediară, este obligatorie folosirea ecranelor de protecţie împotriva scânteilor. Sudorul trebuie să poarte echipament de protecţie adecvat pentru a evita pătrunderea scânteilor spre corp.

Verificarea cablurilor instalaţiei trebuie să se facă cu mare atenţie, deoarece există pericolul de străpungere datorită ozonului care se formează. Acesta provoacă ionizarea puternică a aerului, care devenind bun conductor, poate provoca străpungeri violente ale izolaţiei cablurilor de legătură.

Pentru scoaterea pieselor sudate dintre bacuri se vor folosi cleşte sau dispozitive specializate.

23.7. Măsuri preventive antiincendiare

Nu se permite sudarea în salopetă şi mănuşi murdare de unsori, grăsimi şi materiale inflamabile. Pentru preîntâmpinarea focarului incendiilor în zona sudării trebuie să fie mijloace primare de stingere a focului: butoi cu apă şi găleată, ladă cu nisip, lopată şi de asemenea stingător manual.

Sudorul trebuie să cunoască locul cel mai apropiat al robinetului antiincendii, furtunurilor, stingătoarelor, lăzii cu nisip şi al altor mijloace de stingere a focului. Sudorii trebuie să ştie să se folosească de mijloacele primare de stingere a focului. Benzina, gazul lampant, petrolul şi cablurile electrice aprinse trebuie stinse cu nisip sau bioxid de carbon din stingătorul special.

La sudare permanent sar particule de metal topit: scântei, stropi, care nimerind pe materialele inflamabile, pot provoca incendii. Dacă la distanţă mai mică de 5m de la locul sudării sunt scânduri, aşchii de lemn, câlţi, podele de scânduri şi alte materiale inflamabile este necesar de adoptat măsuri antiincendii: de îngrădit locurile cu materiale inflamabile cu ecrane metalice sau din asbest.

În afara cabinei de sudare se permite de realizat lucrările numai de către sudor, care posedă certificat cu dreptul de realizare a lucrărilor de sudare. Sudorul trebuie să primească un permis special (la locul de executare a lucrărilor de sudare) pentru asigurarea măsurilor antiincendii la realizarea acestor lucrări. Se interzice realizarea lucrărilor de sudare la comunicaţii şi rezervoare cu materiale inflamabile sau sub presiune, la construcţiile proaspăt vopsite.

Lucrările de sudare trebuie să fie realizate în locuri utilate pentru acest scop: ateliere, secţii sau pe platouri deschise, în locuri temporare şi platouri (la construcţii, clădiri ş. a.). După terminarea lucrărilor este necesar de deconectat aparatura de sudare de la sursele de energie, curăţat locul de muncă, de sesizat lipsa obiectelor fumegânde sau mocninde.

La realizarea lucrărilor temporare de sudare în afara locului de lucru se permite numai după concordarea lor cu serviciul de pompieri. Învoirea la realizarea lucrărilor temporare de sudare se eliberează numai la un schimb de lucru.

Începerea sudării temporare în afara locului de lucru se permite numai după îndeplinirea tuturor cerinţelor antiincendiare (existenţa mijloacelor de stingere a focului, curăţarea locului de muncă de materiale inflamabile, protejarea construcţiilor inflamabile ş. a.).

Realizarea lucrărilor de sudare nu se permite: cu instalaţii defectate, cu salopete, mănuşi şi ghete cu pete de unsori, grăsimi, benzină, când cablurile electrice se ating de buteliile cu gaze sub presiune, în încăperi şi construcţii când sub locurile executării lucrărilor de sudare sunt construcţii

din materiale inflamabile.

Cele mai mari pericole sunt circuitul scurt în reţeaua secţiei, utilajelor de sudare şi cablurilor electrice; supraîncărcarea reţelei transformatorului sau convertizorului de sudare; rezistenţelor de trecere mari; pătrunderea rămăşiţelor electrozilor, stropilor de metal pe suprafeţele materialelor inflamabile ale construcţiilor; explozia încăperilor umplute cu gaze. Circuitul scurt este posibil la contactul cablurilor electrice prin obiectele metalice, la atingerea cablurilor electrice cu izolaţia deteriorată etc. Supraîncărcarea reţelei secţiei poate produce alegerea incorectă a cablurilor electrice, supraîncărcarea utilajelor şi scânteierea periilor generatorului, convertizorului de sudare, temperatura căruia nu trebuie să depăşească 75°C, iar a transformatorului de sudare – 95°C. Afară de temperatură înaltă, semne de supraîncărcare a utilajelor de sudare sunt: vuiet puternic, vibraţie, iar la generator – scânteiere. Supraîncărcarea conduce la încălzirea şi aprinderea izolaţiei.

Locurile de atingere a cablurilor cu ţevile de încălzire, construcţiile metalice, comunicaţiile, instalaţiile tehnologice ş.a., la care metalul se încălzeşte până la temperatura, care ar aduce la aprinderea construcţiilor şi materialelor, instalate aproape de aceste locuri creează pericole de aprindere. Răsucirea cablurilor la rece este periculoasă prin aceea, că creează rezistenţe de trecere cu încălzire puternică, suficientă pentru aprinderea materialelor şi rămăşiţilor inflamabile.

Alegerea corectă a tăieturii transversale a cablurilor electrice conform izolaţiei, tensiunii de funcţionare şi siguranţei fuzibile la curentul limitativ permis, protejează cablurile şi instalaţiile de sudare de aprindere.

Pericole de aprindere deseori se ivesc la sudarea la înălţime. Rămăşiţele electrozilor aruncate din portelectrod, căzând pe acoperişuri, schele, aşezate mai jos de locul sudării, pot produce aprinderea rămăşiţelor de lemn şi altor materiale inflamabile. Sunt foarte periculoase capetele electrozilor utilizaţi la lucrările de construcţii, montaj şi reparaţii.

Lucrările de sudare se permite de executat la distanţă nu mai mică de 5 m de la materiale inflamabile şi nu mai aproape de 10 m de la rezervoare cu lichide uşor inflamabile. În acest caz locurile de realizare a lucrărilor de sudare trebuie să fie asigurate cu mijloace de stingere a focului.

ANEXA

Standarde internaţionale ISO şi europene EN în domeniul sudării prin topire şi corespondenţa acestora cu standarde româneşti şi ruseşti (GOST-uri)

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 287-1	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 1: oţelul	1992	SR EN 287-1, 1995	15614-10-1009
EN 287-1/prA1	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 1: oţelul-modificare A1	1996		
EN 287-2	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 2: aluminiu şi aliaje din aluminiu	1992	SR EN 287-2, 1995	10042-2009
EN 287-2/prA1	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 2: aluminiu şi aliaje din aluminiu-modificare A1	1996		15608-2009
prEN 287-3	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 3: cupru şi aliaje din cupru	1995		53687-2009, 4136-2009, 3452-2-2009
prEN 287-4	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 4: nichel şi aliaje din nichel	1995		15614-2-2009
prEN 287-5	Calificarea sudorilor-sudarea prin topire-partea 5: titan şi aliaje din titan	1995		15614-5-2009
EN 288-1	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 1: reguli generale pentru sudarea prin topire	1992	SR EN 288-1, 1995	19521-74

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 288-1/prA1	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 1: reguli generale pentru sudarea prin topire-modificare A1	1996		
EN 288-2	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 2: referire pentru sudarea cu arc electric	1992	SR EN 288-2, 1995	
EN 288-2/prA1	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 1: referire pentru sudarea cu arc electric-modificare A1	1996		
EN 288-3	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 3: Calificarea procedurii de sudare pentru sudarea cu arc electric a oţelului	1992	SR EN 288-3, 1995	
EN 288-3/prA1	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 3: Calificarea procedurii de sudare pentru sudarea cu arc electric a oţelului-modificare A1	1996		
EN 288-4	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 4: Calificarea procedurii de sudare pentru sudarea cu arc electric a aluminiului şi a aliajelor din aluminiu	1992	SR EN 288-4, 1995	14806-80
EN 288-4/prA1	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 4: Calificarea procedurii de sudare pentru sudarea cu arc electric a aluminiului şi a aliajelor din aluminiu-modificare A1	1996		

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 288-5	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 5: Calificarea prin utilizarea materialelor pentru sudare certificate la sudarea cu arc electric	1994	SR EN 288-5, 1995	
EN 288-6	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 6: Calificarea prin referire la experienţa anterioară	1994	SR EN 288-6, 1995	
EN 288-7	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 7: Calificarea prin referire la o procedură de sudare standard pentru sudarea cu arc electric	1995	SR EN 288-7, 1995	
EN 288-8	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 8: Calificarea printr-o încercare de sudare înainte de începerea fabricării	1995	SR EN 288-8, 1995	
prEN 288-9 (prevăzut cu un nou număr)	Specificarea şi calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice; partea 9: Verificarea procedurii de sudare pentru conducte tubulare pe şantier	1994		
EN 439	Materiale pentru sudare – gaze de protecţie pentru sudare cu arc electric	1994	SR EN 439, 1995	АГ101157-62, O_2 5583-98, H_2 949-73, CO_2 8050-76
EN 440	Materiale pentru sudare – sârme electrod şi metal depus pentru sudarea în mediu de gaz de protecţie a oţelurilor nealiate şi cu granulaţie fină. Clasificare	1994		2249-70

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 499	Materiale pentru sudare –electrozi înveliţi pentru sudarea manuală cu arc electric a oţelurilor nealiate şi cu granulaţie fină. Clasificare	1994	SR EN 499, 1996	9466-75
EN 559	Aparate pentru sudare cu gaze – furtun din cauciuc pentru sudare, tîiere şi procedee conexe	1994		9356-75
EN 560	Aparate pentru sudare cu gaze – conectare furtun pentru aparate, instalaţii pentru sudare, tăiere şi procedee conexe	1994		
EN 560	Aparate pentru sudare cu gaze – conectare furtun cu închidere automată pentru sudare, tăiere şi procedee conexe	1994	SR EN 561, 1995	
EN 562	Aparate pentru sudare cu gaze – manometru pentru sudare, tăiere şi procedee conexe	1994		2405-88 O_2 15150-69
EN 585	Aparate pentru sudare cu gaze – aparat de reducere a presiunii în cazul buteliilor de zaz pentru sudare, tăiere şi procedee conexe	1994	SR EN 585, 1995	13861-89
EN 719	Coordonarea sudării – sarcini şi responsabilităţi	1994	SR EN 719, 1995	
EN 729-1	Cerinţe tehnice de calitate a sudurii-sudarea prin topire a materialelor metalice – partea 1 : Ghid pentru selecţie şi utilizare	1994	SR EN 729-1, 1995	3242-79
EN 729-2	Cerinţe tehnice de calitate a sudurii-sudarea prin topire a materialelor metalice – partea 2 : Cerinţe de calitate complete	1994	SR EN 729-2 1995	

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 729-3	Cerinţe tehnice de calitate a sudurii-sudarea prin topire a materialelor metalice – partea 3 : Condiţii de calitate standard	1994	SR EN 729-3, 1995	
EN 729-4	Cerinţe tehnice de calitate a sudurii-sudarea prin topire a materialelor metalice – partea 4 : Condiţii de	1994	SR EN 729-4, 1995	
EN 730	Instalaţii pentru sudare, tăiere şi procedee conexe. Dispozitive de siguranţă pentru gaze combustibile şi oxigen sau aer comprimat	1995		12.2. 085
EN 756	Sârme şi combinaţii sârmă-flux pentru sudarea sub flux a oţelurilor nealiate şi de granulaţie fină	1995	SR EN 756, 1995	26271-84
EN 760	Fluxuri pentru sudare sub strat de flux. Clasificare	1995	SR EN 760, 1997	9087-81
ISO 857	Procedee de sudare, lipire tare şi lipire moale. Vocabular	1994	SR ISO 857, 1994	29297-92
EN 961	Regulatoare de presiune pentru sudare, tîiere şi procedee conexe până la 200 bar	1995		
prEN 1011-1	Recomandări pentru sudarea cu arcul electric. Partea 1 - Generalităţi	1996		5264-80
prEN 1011-2	Recomandări pentru sudarea cu arcul electric. Partea 2 – Oţeluri feritice			
prEN 1011-3	Recomandări pentru sudarea cu arcul electric. Partea 3 – Oţeluri austenitice			

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediția	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
prEN 1011-4	Recomandări pentru sudarea cu arcul electric. Partea 4 - Aluminiu			
prEN 1256	Aparate pentru sudare cu gaz. Specificaţii pentru racordurile pentru furtunuri	1996		15527-2004
prEN 1326	Aparate pentru sudare cu gaz. Aparate mici pentru lipirea şi sudarea cu gaz	1996		
prEN 1327	Aparate pentru sudare cu gaz. Furtunuri termoplastice			161-2004
prEN 1418	Personal sudor. Examinarea operatorilor pentru sudarea mecanizată şi automată a materialelor metalice	1994		
prEN 1419	Îmbinări sudate cu laser şi fascicul de electroni la oţel. Recomandare pentru grupele de apreciere a imperfecţiunilor	1995		28915-91
prEN 1597-1	Materiale de adaos pentru sudare. Verificare pentru clasificare. Partea1: Piesa de probă pentru realizarea probelor de metal depus pentru oţel, nichel şi aliaje din nichel	1994		
prEN 1597-2	Materiale de adaos pentru sudare. Verificare pentru clasificare. Partea 2: Pregătirea unei piese de probă pentru verificarea sudurilor dintr-o parte şi din două părţi la oţel	1994		
prEN 1597-2	Materiale de adaos pentru sudare. Verificare pentru clasificare. Partea 3: Verificarea aptitudinii pentru sudare în poziţie pe îmbinări în colţ	1994		

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediția	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
prEN 1598	Securitatea şi sănătatea la sudare şi procedee conexe. Perdele transparente şi paravane pentru sudarea cu arcul electric	1994		
prEN 1599	Materiale de adaos pentru sudare. Electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor termorezistente. Clasificare	1994		9467-65
prEN 1600	Materiale de adaos pentru sudare. Electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor inoxidabile şi refractare. Clasificare	1994		10052-75
prEN 1668	Materiale de adaos pentru sudare. Vergele, sârme şi metal depus pentru sudarea WIG a oţelurilor nealiate şi cu granulaţie fină. Clasificare	1994		2246-70
prEN 1792	Lista cu termeni din sudură şi procedee conexe; alcătuiri în trei limbi			
prEN ISO 2503	Reductoare de presiune pentru butelii de gaz pentru sudare, tăiere şii procedee conexe până la 300 bar			
ISO 4063	Sudarea, lipirea tare, lipirea moale şi sudarea prin lipire. Notare		STAS ISO 4063, 1992	
prEN ISO 5172	Arzătoare manuale pentru sudare, tăiere şi încălzire. Cerinţe şi verificări			1077-79 5191 79
prEN ISO 6520-1	Sudură şi procedee conexe. Imperfecţiuni în îmbinări sudate prin topire la metale			30242-97
prEN ISO 6947	Îmbinări sudate. Poziţii de lucru. Noţiuni şi valori unghiulare pentru înclinarea şi rotirea sudurii		SR ISO 6947, 1994	15878-79

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
prEN ISO 9692-2	Sudarea sub strat de flux. Pregătirea rostului la oţel			15164-78
prEN ISO 10882-2	Protecţia muncii şi sănătăţii la sudare şi procedee conexe. Prelevarea probelor la materiale sub formă de particule şi gaze în zona de respiraţie a sudorului. Partea 2: Prelevarea probelor de gaze			12.3.003-86
prEN 12070	Materiale de adaos pentru sudare. Sârme electrod, sârme şi vergele pentru sudarea cu arcul electric a oţelurilor termorezistente. Clasificare			9467-65
prEN 12071	Materiale de adaos pentru sudare. Sârme tubulare pentru sudarea MAG a oţelurilor termorezistente. Clasificare			2246-70
prEN 12072	Materiale de adaos pentru sudare. Sârme electrod, sârme şi vergele pentru sudarea cu arcul electric a oţelurilor inoxidabile şi refractare. Clasificare			
prEN 12073	Materiale de adaos pentru sudare. Sârme tubulare pentru sudarea cu arcul electric cu sau fără gaz de protecţie a oţelurilor inoxidabile şi refractare. Clasificare			18143-72
prEN 12074	Materiale de adaos pentru sudare. Cerinţe de calitate pentru producere şi livrare a materialelor de adaos pentru sudare şi procedee conexe			

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediţia	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
prEN 12185	Sudare. Îmbinări sudate cu fascicul de electroni şi laser la aluminiu şi aliajele sale sudabile. Ghid pentru grupe de apreciere a imperfecţiunilor			
prEN ISO 13920	Sudare. Toleranţe generale pentru structuri sudate. Măsuri pentru lungimi şi unghiuri, formă şi poziţie			23118-99
EN 20544	Materiale de adaos pentru sudarea manuală. Dimensiuni		SR EN 20544, 1994	9466-75
EN 22401	Electrozi înveliţi, determinare caracteristicilor de depunere, a randamentului de depunere şi a coeficientului de depunere	1994	SR EN 22401, 1995	
EN 22553	Suduri. Reprezentare simbolică în desene	1994	SR EN 22553, 1995	2.312
EN 24063	Sudarea şi lipirea metalelor. Lista procedeelor şi numere de ordine pentru reprezentarea grafică	1992		
EN 25817	Îmbinări sudate din oţel. Ghid pentru grupe de evaluare a imperfecţiunilor	1992	SR EN 25817, 1993	
EN 26847	Electrozi înveliţi pentru sudarea manuală cu arc electric. Realizarea probei de metal depus pentru determinarea compoziţiei chimice	1994	SR EN 26847, 1995	9466-75 10052-75
EN 26848	Electrozi din wolfram pentru sudarea WIG şi cu plasmă. Simbolizare	1991	SR EN 26848, 1993	23949-80

Numărul EN/prEN/SO	Tipul	Ediția	Numărul SR EN/prEN/SO	Numărul GOST-ului
EN 29090	Etanşarea la gaz a aparatelor pentru sudarea cu gaz şi procedee conexe	1992		9833-73
EN 29539	Materiale pentru aparatură pentru sudarea cu gaz, tăiere şi procedee conexe	1992		
EN 29692	Sudarea manuală cu electrozi înveliți, sudarea cu arcul electric în mediu de gaz protector, sudarea cu gaz. Pregătirea rosturilor pentru sudare	1994	SR EN 29692, 1994	11534-75
EN 30042	Îmbinări sudate cu arcul electric la aluminiu şi aliajele sale. Ghid pentru grupe de evaluare a imperfecțiunilor	1994	SR EN 30042, 1995	
prEN 34113	Aparate pentru sudare cu gaz. Racorduri de cauciuc şi mase plasticepentru gaze sub formă de presiune şi lichefiate până la o presiune maximă de 450 bar			

BIBLIOGRAFIE

1. Botez I., Bodeanu D., Amariei A., Botez A. ş.a. *Sudarea, tăierea şi prelucrarea materialelor cu gaze.* Editura Lumina. Chişinău, 2007.
2. Dehelean D. *Sudarea prin topire.* Editura Sudura. Timişoara,1997.
3. Şerb A. *Proiectarea şi încercarea structurilor sudate.* Vol. I şi II. Editura Tehnica – Info. Chişinău, 2001.
4. Sârbu I. *Tehnologia construcţiilor sudate.* Editura Politehnium. Iaşi, 2005.
5. Cohal V. *Echipamente pentru sudare.* Îndrumar de laborator. Editura Tehnica – Info. Chişinău, 2001.
6. Sârbu I. *Tehnologia sudării prin topire.* Editura Tehnica – Info. Chişinău, 2000.
7. Ulianov C. *Procedee speciale de sudare.* Editura Tehnica – Info. Chişinău, 2001.
8. Joni N., Trif N. *Sudarea robotizată cu arcul electric.* Editura Lumina Lux. Braşov, 2005.
10. Глазменко Д. Л. *Сварка и резка металлов.* М. Высшая школа, 1974.
11. Рыбаков В.М. *Сварка и резка металлов.* М. Высшая школа, 1979.
12.Морозов В.А., Морозова А.В. *Справочник сварщика и резчика. Кишинев.* Картя молдовеняскэ, 1988.
13. Шевченко Л.П. *Оборудование и технология автоматической сварки.* М. Высшая школа, 1975.
14. Алешин Н.П. *Контроль качествасварных работ.* М. Высшая школа, 1981.
15. Гитлевич А.Д., Этингоф Л.А. *Механизация и автоматизация сварочного производства.* М. Машиностроение,1979.
16. Шебенко Л.П. *Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки.* М. Высшая школа, 1975.
17. Сварка в машиностроении. Справочник в 4 – х томах. *Под редакцией Ольшаковского* Н.А., Зорина Ю.Н. М. Машиностроение, 1978, 1979.
18. Фотиных В.П., Яковлев А.П. *Ручная дуговая сварка.* М. Высшая школа, 1986.

CUPRINS

INTRODUCERE 3

CAPITOLUL 1. PROCEDEE DE SUDARE 4

1.1 Sudarea prin topire 4
1.2 Sudarea prin presiune 5

CAPITOLUL 2. TIPURI DE ÎMBINĂRI SUDATE 6

2.1 Clasificarea îmbinărilor sudate 6
2.2 Părţile componente ale sudurilor realizate cu arc electric 7

CAPITOLUL 3. ARCUL ELECTRIC DE SUDARE 14

3.1 Proptietăţile de sudare ale arcului electric 14
3.2 Amorsarea arcului electric 15
3.3 Cerinţele comune către sursele de alimentare ale arcului electric 19
3.4 Caracteristicile statice exterioare ale surselor de alimentare ale arcului electric 21
3.5 Arcul electric ca sursă de căldură 22
3.6 Particularităţile arcului electric cu curent alternativ 23
3.7 Transferul metalului electrodului pe piesa care se sudează 24

CAPITOLUL 4. UTILAJELE POSTULUI DE SUDARE CU ARC ELECTRIC 27

4.1 Postul de sudare 27
4.2 Cabina sudorului 28
4.3 Construcţia transformatorului de sudare 29
4.4 Construcţia redresorului de sudare 30
4.5 Principiul de funcţionare a redresorului de sudare 32
4.6 Convertor de sudare cu motor electric 33
4.7 Accesorii şi scule ale sudorului 34
4.8 Îmbrăcăminte pentru sudori 38
4.9 Scule auxiliare pentru sudor 38

CAPITOLUL 5. SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIŢI 41

5.1 Forme de rosturi 41
5.2 Principiul sudării electrice 46
5.3 Ionizarea zonei arcului 47
5.4 Tehnica manipulării cu electrodul 49
5.5 Electrozi pentru sudarea cu arc electric 52
5.6 Electrozi fuzibili înveliţi 53
5.7 Metode de formare a cusăturilor de diferite lungimi 55
5.8 Sudarea tablelor groase 58
5.9 Secţiunea transversală a cusăturii 59

5.10 Regimuri de sudare 60
5.11 Tipul şi marca electrodului 62
5.12 Sudarea orizontală 66
5.13 Particularităţile sudării cusăturilor verticale, orizontale pe perete vertical şi peste cap 70
5.14 Sudarea tablelor subţiri 72

CAPITOLUL 6. PROCESE METALURGICE LA SUDARE 74

6.1 Particularităţile metalurgice ale sudării 74
6.2 Metalurgia sudării electrice manuale 75
6.3 Structura zonei influenţate termic a oţelurilor carbon 77
6.4 Oxidul de carbon (IV) (bioxidul de carbon) 79
6.5 Interacţiunea metalului topit cu gazele, sulful şi fosforul 80
6.6 Interacţiunea hidrogenului, azotului şi gazelor complexe cu metalul topit al băii de sudare 81
6.7 Influenţa sulfului şi fosforului la calitatea îmbinărilor sudate ... 82

CAPITOLUL 7. MEDII DE PROTECŢIE 83

7.1 Gaze de protecţie 84
7.2 Tehnologii şi utilaje de sudare în medii de gaze protectoare 85
7.3 Sudarea prin procedeul MIG 90
7.4 Sudarea prin procedeul MAG 92
7.5 Tehnologia sudării MAG în mediu de bioxid de carbon 93
7.6 Sudarea prin procedeul WIG 95
7.7 Sudarea WIG cu hidrogen atomic 100
7.8 Tehnologia sudării în mediu de argon (WIG) 101
7.9 Sudarea în mediu de azot 103

CAPITOLUL 8. TEHNOLOGII DE SUDARE ALE METALELOR 104

8.1 Tehnologia sudării oţelurilor carbon 104
8.2 Sudabilitatea materialelor 104
8.3 Pregătirea metalului pentru sudare 106
8.4 Asamblarea pieselor care urmează să fie sudate 107
8.5 Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor carbon 112
8.6 Tehnologia sudării oţelurilor călibile, slab şi mediu aliate 113
8.7 Sudarea oţelurilor călibile, slab şi mediu aliate 117
8.8 Sudarea oţelurilor de construcţii slab şi mediu aliate 118
8.9 Sudarea oţelurilor aliate pentru construcţia de maşini 119
8.10 Sudarea oţelurilor termostabile 119
8.11 Tehnologia sudării oţelurilor cu conţinut ridicat de carbon, feritice, martensitice şi feritice – maretnsitice 120
8.12 Sudabilitatea oţelurilor cu conţinut ridicat de crom 124

8.13 Tehnologia sudării oţelurilor şi aliajelor austenitice înalt aliate 127
8.14 Particularităţile tehnologiei sudării oţelurilor înalt aliate 129
8.15 Sudarea oţelurilor rezistente la coroziune 129
8.16 Sudarea oţelurilor şi aliajelor refractare (termorezistente) 130
8.17 Sudarea fontelor 133
8.18 Tehnologia sudării metalelor eterogene (disimilare) 140
8.19 Particularităţile tehnologiei şi tehnicii sudării oţelurilor eterogene (cu diferite structuri) 141
8.20 Sudarea metalelor şi aliajelor neferoase 142
8.21 Sudarea cuprului cu electrozi de cărbune 145
8.22 Sudarea cuprului cu electrozi metalici 145
8.23 Sudarea cuprului cu arc electric în mediu de argon 146
8.24 Sudarea aluminiului şi aliajelor sale 146
8.25 Sudarea cu arc electric a aluminiului cu electrod de cărbune 148
8.26 Sudarea aluminiului cu electrozi metalici 148
8.27 Sudarea cu arc electric a aluminiului în mediu de argon 150
8.28 Sudarea nichelului şi aliajelor sale 150
8.29 Sudarea titanului şi aliajelor sale 152
8.30 Particularităţile tehnologiei de sudare a oţelurilor cu metale neferoase 154

CAPITOLUL 9. TĂIEREA (DEBITAREA)METALELOR CU ARC ELECTRIC 155

9.1 Debitarea cu arc electric în mediu de oxigen 155
9.2 Procedee de debitare cu electrod nefuzibil 156
9.3 Tăierea cu arc electric în mediu de aer comprimat 156
9.4 Tăierea şi sudarea metalelor cu plasmă 158
9.5 Tăierea şi sudarea metalelor cu laser 165

CAPITOLUL 10. ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE 169

10.1 Materiale pentru încărcare 170
10.2 Încărcarea manuală cu arc electric şi electrozi fuzibili 175
10.3 Încărcarea cu arc electric sub strat de flux 175
10.4 Încărcarea în gaze de protecţie cu electrod de wolfram 176
10.5 Încărcarea cu arc electric vibratoriu 176
10.6 Încărcarea cu plasmă 177

CAPITOLUL 11. SUDAREA CU ARC ELECTRIC SUB STRAT DE FLUX 182

11.1 Principiu, caracteristici, domenii de aplicare 183
11.2 Influenţe metalurgice la sudarea sub strat de flux 187
11.3 Structura cusăturilor sudate 188
11.4 Recomandări tehnologice 190

11.5 Informaţii generale despre construcţia instalaţiilor de sudare sub strat de flux 193
11.6 Mecanisme pentru sudarea automată sub strat de flux 193
11.7 Instalaţii pentru sudarea automată sub strat de flux 194
11.8 Tractor de sudare TC – 17MY 196
11.9 Automate de sudare A874C şi A874H 201
11.10 Instalaţii pentru sudare semiautomată în gaz de protecţie 203

CAPITOLUL 12. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN BAIE DE ZGURĂ 205

12.1 Formarea cusăturii la sudarea în băi de zgură 207
12.2 Materiale de adaos folosite la sudarea în baie de zgură 208

CAPITOLUL 13. SUDAREA CU SÎRMĂ TUBULARĂ (ST) 210

13.1 Avantajele şi dezavantajele sudării cu sîrmă tubulară 211
13.2 Tipuri de sîrme tubulare 212
13.3 Semiautomate de sudare cu sîrmă tubulară 214
13.4 Sudarea semiautomată în mediu de gaze protectoare 216

CAPITOLUL 14. SUDAREA ŞI TĂIEREA SUBACVATICĂ CU ARC ELECTRIC 218

14.1 Tăierea subacvatică a metalelor cu arc electric 220

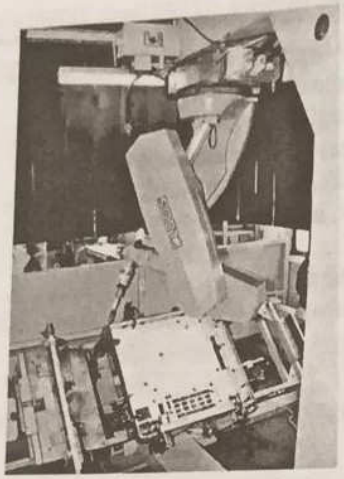
CAPITOLUL 15. SUDAREA CU FASCICUL DE ELECTRONI 223

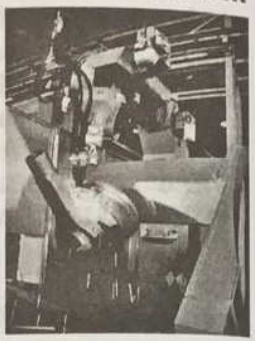
15.1 Avantajele şi dezavantajele procedeului SFE 225
15.2 Tehnologia sudării cu fascicul de electroni 226
15.3 Sudarea oţelurilor nealiate şi slab aliate cu fascicul de electroni 226
15.4 Sudarea oţelurilor inoxidabile cu fascicul de electroni 228
15.5 Sudarea cuprului şi aliajelor sale 228
15.6 Sudarea nichelului 228
15.7 Sudarea materialelor reactive şi refractare 228
15.8 Echipamente de sudare cu fascicul de electroni 229
15.9 Aplicaţii 230

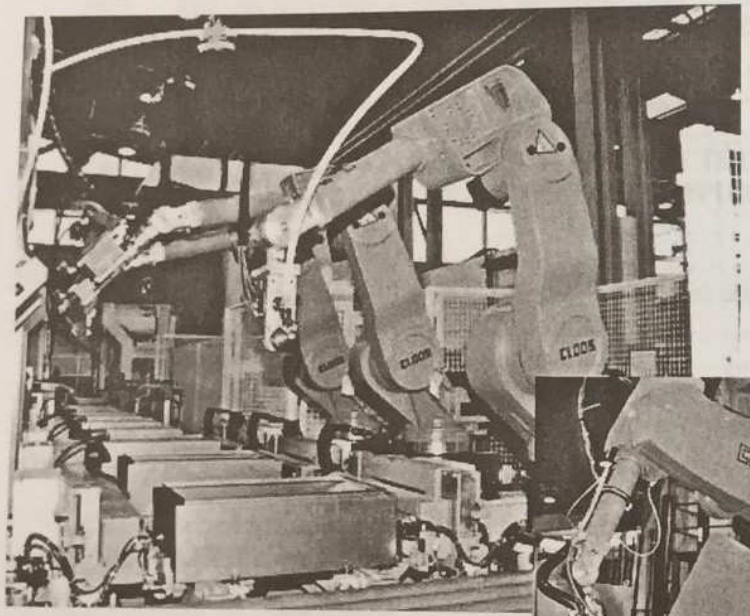
CAPITOLUL 16. SUDAREA ELECTRICĂ PRIN PRESIUNE 232

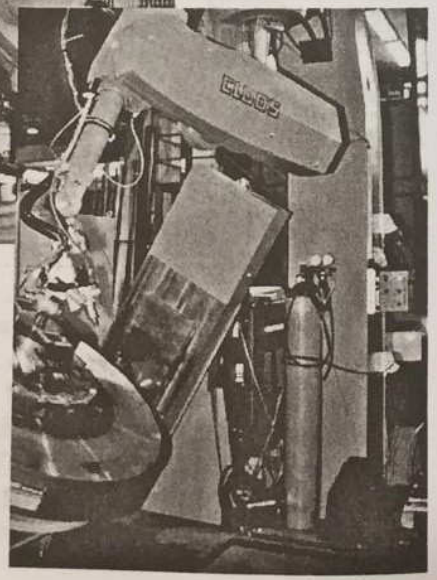
16.1 Principiul sudării electrice prin presiune în puncte 234
16.2 Procesul electric al formării punctului de sudură 236
16.3 Sudarea în puncte 239
16.4 Sudarea în relief 240
16.5 Sudarea electrică prin presiune în linie 241
16.6 Sudarea electrică prin presiune cap la cap 247
16.7 Maşini pentru sudarea electrică prin presiune 249
16.8 Dispozitive pentru sudarea electrică prin presiune 255
16.9 Electrozi pentru sudarea electrică prin presiune 259
16.10 Sudarea semiautomată prin presiune pe maşini electrice speciale 260

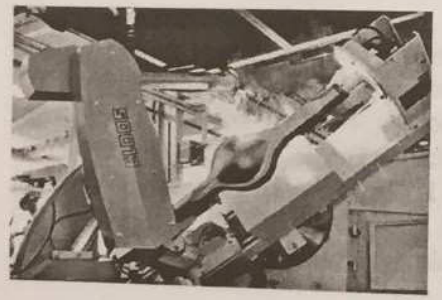
CLOOS
schweisstechnik

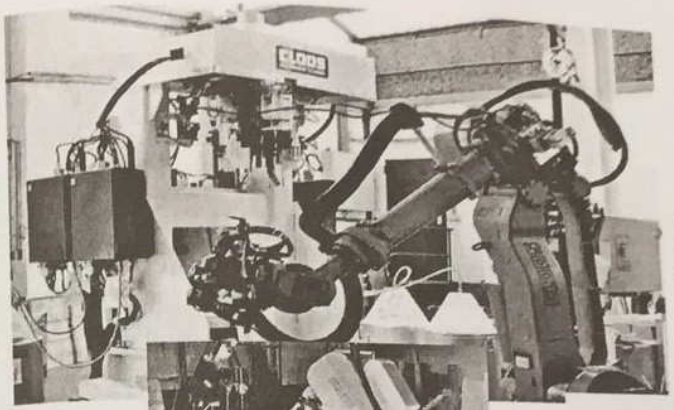












CLOOS
schweisstechnik

