

## PARTEA I IMBINĂRILE SUDARE

### 1.1. INTRODUCERE

**Sudarea:** este un procedeu tehnologic de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe piese realizată printr-un procedeu oarecare de sudare, în așa fel încât să se obțină o legătură metalică de egală rezistență, care să prezinte siguranță în execuție și exploatare (SR ISO 857/1994).

#### 1.1.1. Avantajele aplicării tehnologiei de sudare:

- reducerea consumului de metal (cu 30-50%);
- productivitate mai mare (de 2-20x);
- proprietăți mecanice superioare (față de piesele turnate sau nituite);
- dimensiuni și complexitate nelimitate;
- formă rațională, adaptată solicitărilor;
- se pot realiza construcții care prin alte procedee tehnologice nu;
- se obțin îmbinări etanșe;
- se utilizează semifabricate și elemente tipizate;
- utilaje de sudare sunt mai simple și ieftine;
- posibilitate de mecanizare, automatizare, robotizare;
- nu se formează rebut iremediabil;
- timpul tehnologic este mai redus;
- prețul de fabricație mai scăzut;
- poluare mai redusă, condiții de lucru mai bune.

#### Desavantajele sudării:

- pot apare defecte greu identificabile;
- apar tensiuni și deformații la sudare;
- există pierdere de metal la tăierea elementelor constructive;
- calitatea construcțiilor sudate depinde mult de calificarea și conștiințozitatea personalului de proiectare și execuție.

#### 1.1.2. Aplicații industriale:

- înlocuiește tehnologia turnării, nituirii și asamblării mecanice;
- se aplică cu eficiență maximă la:
  - produse unicate, serie mică;
  - producție în serie mare și de masă;
  - produse de dimensiuni mari;
  - produse de mare complexitate;
  - pentru solicitări mari.

#### Domenii de aplicare:

- construcția de mașini și utilaje** (batiuri, carcase, suporturi, stative, cutii, schelete, platforme, tije, pârghii, axe, arbori, lagăre etc.);
- industria metalurgică** (concasoare, mori, cuptoare, ciocane de forjă, prese, laminoare, căi de rulare, manipuloare, etc.);
- industria chimică și petrochimică** (rezervoare, cisterne, recipiente, vase de reacție, schimbătoare de căldură, coloane, conducte, ventile etc.);
- industria prelucrătoare** (mașini unelte, agregate prelucrătoare, linii de transfer, roboți, automate etc.);
- transport uzinal** (macarale, poduri rulante, ascensoare, mașini de ridicat etc.);
- industria extractivă** (combine miniere, sonde de foraj, platforme maritime, schele petroliere, combine de extracție carboniferă de suprafață, benzi transportoare etc.);
- industria de utilaje de construcții** (excavatoare, buldozere, laminoare de asfalt, schele de construcții, macare de tip turn, instalații de preparare a materialelor de construcții etc.);

- industria mijloacelor de transport** (biciclete, motociclete, autocamioane, autobuze, autoturisme, platforme de transport, locomotive, vagoane de cale ferată, nave fluviale și maritime, aeronave, nave și stații cosmice, rachete etc.);
- construcții metalice** (clădiri civile și industriale, hale, cupole, turnuri, poduri rutiere și feroviare, pasaje, ferme, stâlpi etc.);
- utilaje pentru industria ușoară** (utilaje pentru industria alimentară, a berii, mori, cuptoare pentru pâine, utilaje textile, de fabricare a hârtiei, industria de încălzire, aparate de uz casnic, frigider, mașini de spălat, cuptoare etc.);
- industria electrotehnică și electronică** (carcase de aparatură electrică, electronică, plăci circuite imprimate, semiconductoare, circuite integrate, calculatoare, imprimante, scanere etc.);
- tehnica de apărare** (tancuri, transportoare blindate, afeturi de tunuri, rachete tactice și intercontinentale, șalupe, pontoane, nave de război, submarine etc.).

### 1.1.3. Date istorice

#### **Pe plan mondial:**

- 1802** – descoperirea arcului electric (Petrov);
- 1882** – utilizarea arcului electric pentru sudare cu electrod de cărbune (Bernardos);
- 1886** – sudarea cap la cap prin presiune și rezistență electrică (Thompson);
- 1888** – sudarea cu arc electric și electrod metalic învelit (Slavianov);
- 1912** – sudarea cu flacără oxo-acetilenică (Le Chatelier);
- 1920-35** – perfectarea tehnologie de sudare tehnologiei de sudare cu arc electric, elaborarea de noi sortimente de electrozi înveliți, determinarea sudabilității metalelor și aliajelor;
- 1942** – sudarea aluminiului și a aliajelor de Al cu arc electric, cu electrod de W, în atmosferă de Ar (Meredith);
- 1945** – sudarea cu arc electric acoperit sub strat de flux (Elin);
- 1955** – sudarea cu arc electric în atmosferă protectoare, cu electrod fuzibil (MIG/MAG);
- 1960** – sudarea cu plasmă;
- 1970** – sudarea cu fascicul de electroni;
- 1980** – sudarea cu laser.

#### **In Romania:**

- 1989** – sudarea armăturilor de oțel la construcția docurilor și antrepozitelor din Brăila și Galați (A. Saligny);
- 1920** – sudarea alumo-termică a șinelor de tramvai (Uz. Electrice Timișoara);
- 1925** – sudarea vagoanelor de tramvai (Uz. Electrice Timișoara);
- 1931** – construcția primului pod de cale ferată sudată peste râul Berzava (Reșița);
- 1936** – prima carte de sudură apărută în România “Procedee industriale de sudare”;
- 1948** – înființarea secției de sudură la Politehnica din Timișoara;
- 1951** – înființarea Institutului Național de Sudură și Incercări de Metale, Timișoara.

### 1.1.3. **Intreprinderi mari de construcții sudate în România:**

Intr. de Mașini Grele “Malaxa”, București; - Intr. “Vulcan”, București; - “Uz. Grivița”, București, -Uz. Mecanice, Timișoara; -Combinatele de Utilaj Greu din Cluj, Iași, Timișoara; -Uz. Utilaj Petrolier, Ploiești; -Uz. Utilaj Chimic, Făgărași, Uz. “Unio”, Satu-Mare; -Uz. Autoturisme din Pitești, Craiova; -Uz. Autocamioane, Brașov; -Uz. Vagoane Astra, Arad; -Șantierul naval din Constanța, Brăila, Galați, Turnu-Severin etc.

## 1.6. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE SUDARE ȘI CONEXE.

Procedeele de sudare de bază conform STAS 5555/2-80 și SR ISO 4063:1992 se împart în cinci categorii mari în funcție de starea materialelor care participă la formarea îmbinărilor sudate, natura procedeelelor de sudare și felul procedeelelor conexe:

**A.-procedee de sudare prin topire**, la care metalul adaos și marginile rosturilor metalului de bază se topesc sub influența sursei de căldură, alcătuind baia de sudură, care prin cristalizare formează cusătura sudată;

**B.-procedee de sudare în stare solidă**, la care îmbinarea pieselor se realizează prin presiune în stare solidă, fără metal adaos, cu sau fără încălzire;

În afară de acestea, mai sunt prevăzute următoarele categorii de procedee:

**C. -procedee speciale de sudare;**

**D. -procedee de lipire a metalelor;**

**E. -procedee conexe**, care sunt metode de prelucrare la cald a metalelor, care utilizează tehnici bazate pe procese care sunt proprii diferitelor metode de sudare, dar nu realizează îmbinări sudate (tăierea, metalizarea, sudarea de încărcare etc.).

În funcție de energia utilizată pentru încălzirea materialelelor există trei categorii de procedee de sudare:

I.-cu energie electrică:	II. -cu energie chimică:	III. -cu energie mecanică:
-cu arc electric; -cu plasmă; -cu fașcicul de electroni; -prin rezistență electrică; -cu curenți de înaltă frecvență; -cu laser;	-cu flacără oxi-acetilenică; -alumino-termic; -în foc de forjă; -prin explozie;	-prin frecare; -prin percuție; -cu ultrasunete; -prin presiune la rece;

În figurile 1.6.1, 1.6.2, 1.6.3. și 1.6.4. sunt prezentate schemele de clasificare a principalelor categorii de procedee de sudare, lipire și conexe:

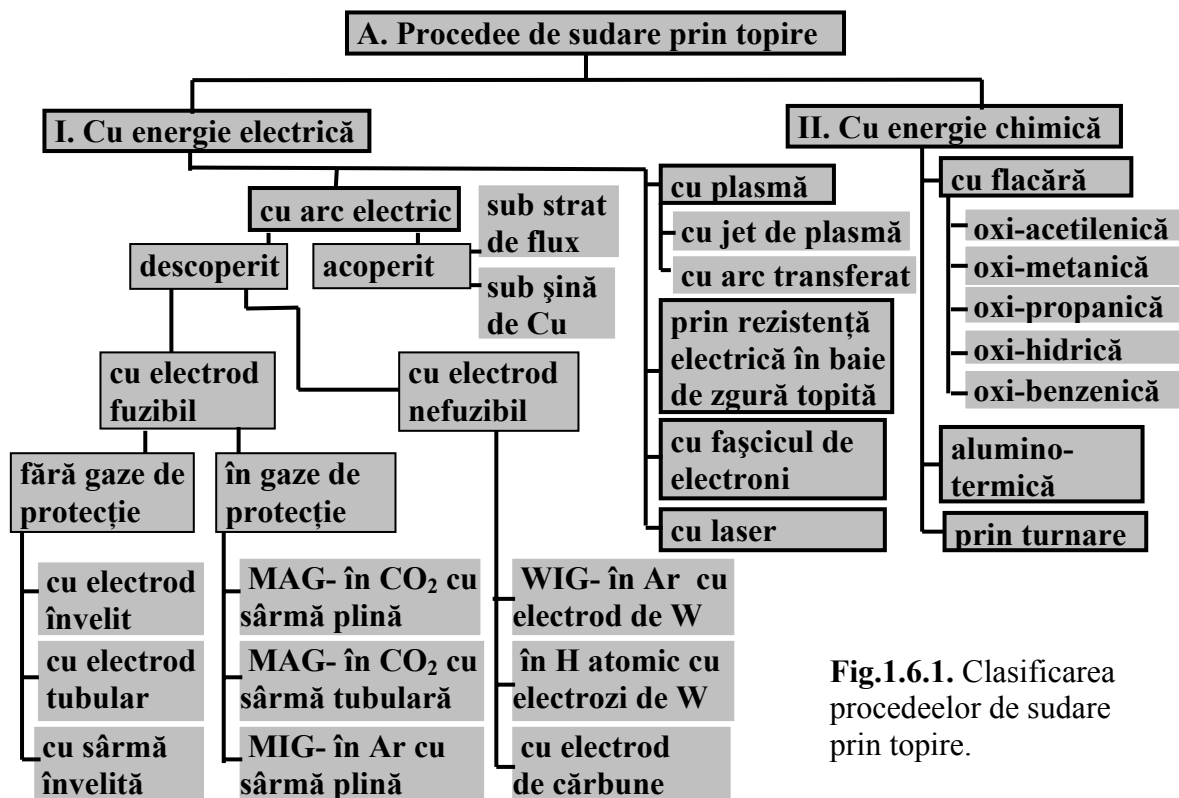


Fig.1.6.1. Clasificarea procedeelelor de sudare prin topire.

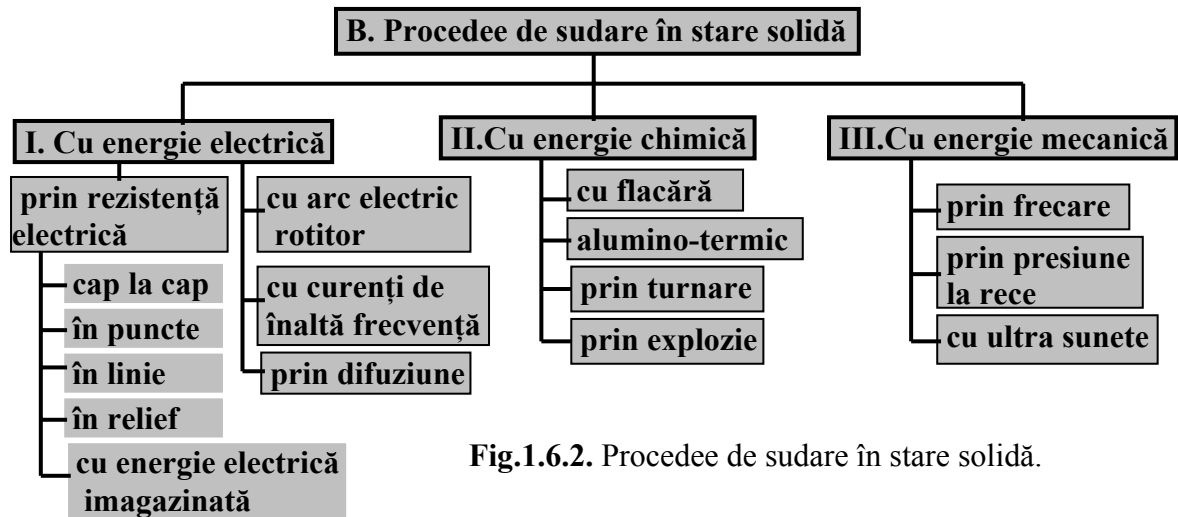


Fig.1.6.2. Procedee de sudare în stare solidă.

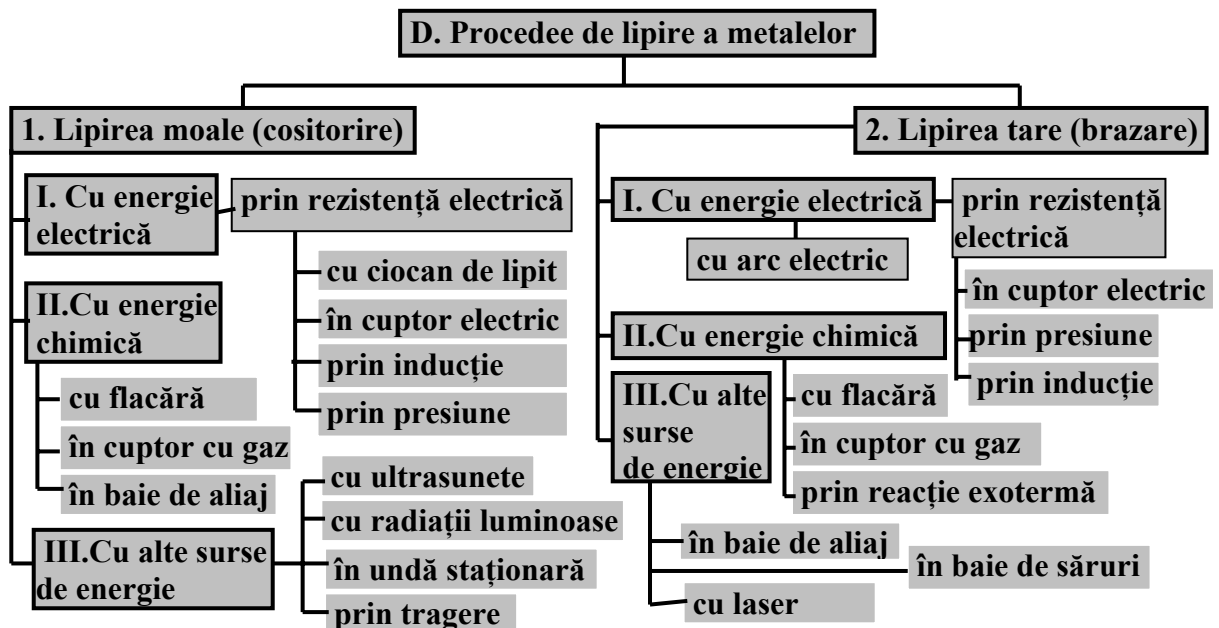


Fig.1.6.3. Clasificarea procedeeleor de lipire.

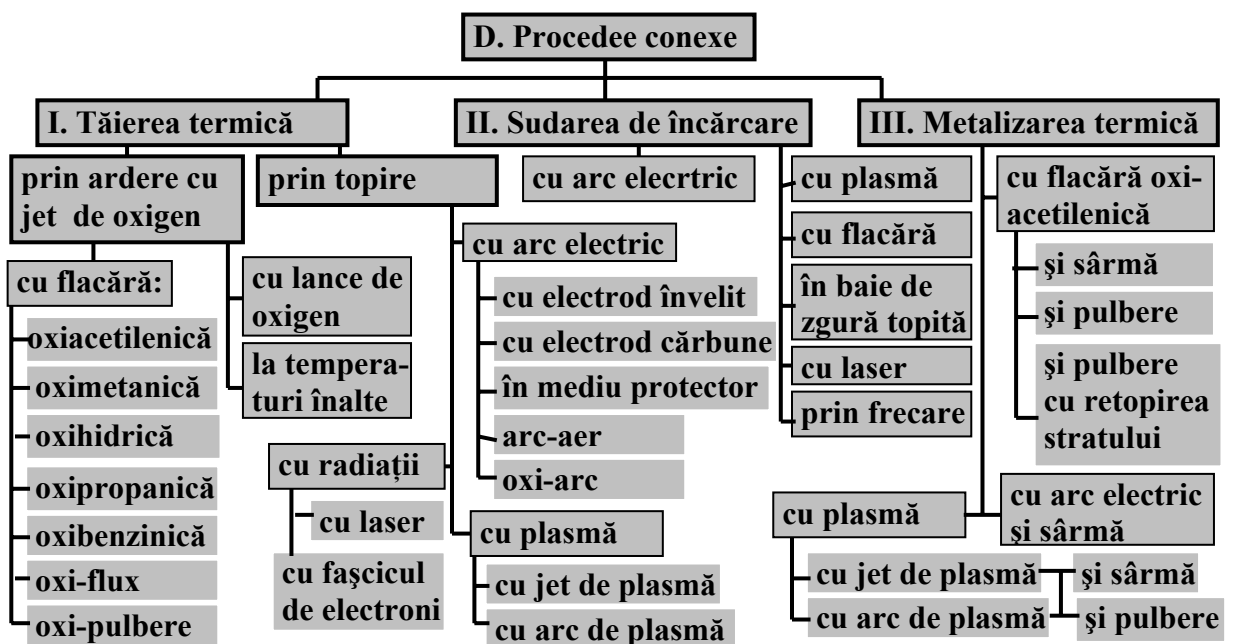


Fig.1.6.4. Clasificarea procedeeleor conexe sudării.

## 1.2. ÎMBINĂRILE SUDATE

**Definiții:** Îmbinarea sudată este o legătură metalică, nedemontabilă, realizată printr-un procedeu oarcare de sudare, asigurând o îmbinare de egală rezistență, de maximă siguranță

în execuție și exploatare (SR 5555/1,2,3).

### 1.2.1. Elemente componente (Fig.1.2.1.):

**m.b.-** metalul de bază (metalul pieselor sudate);

**c.s.** - cusătura sudată (partea din îmbinare sudată care rezultă prin cristalizarea băii de sudură);

**b.s.** - baia de sudură (topitura de metal formată prin topirea metalului adaos și a marginilor metalului de bază);

**m.a.-** metalul adaos (metalul sau aliajul sub formă de sârmă, vergea, bară, granule sau pulberi, care se topesc pentru completarea băii de sudură);

**m.d.-** metal depus (partea din metalul adaos care intră efectiv la formarea băii de sudare);

**r.s.** - rostul de sudare (spațiul liber dintre suprafețele frontale ale pieselor care urmează să fie sudate);

**p.s.** - pătrunderea sudurii (adâncimea de topire a metalului de bază);

**l.t.** - linia de topire (linia de delimitare dintre cusătură și metalul de bază);

**r. c.** -rădăcina cusăturii (primul rând de sudură depus);

**s.c.** -suprafața cusăturii (suprafața care rezultă în urma depunerii ultimului strat de sudură pe superioară a cusăturii);

**z.i.c.-**zonă influențată chimic (zona de legătură dintre cusătură și metalul de bază în care s-au produs modificări în compoziție chimică datorită procesului de sudare);

**z.i.t.-**zonă influențată termic (partea din metalul de bază, din apropierea cusăturii, rămas în stare solidă, care a suferit modificări structurale în urma procesului de sudare);

**s.** - grosimea teoretică a îmbinării sudate, egală cu grosimea metalului de bază (mm);

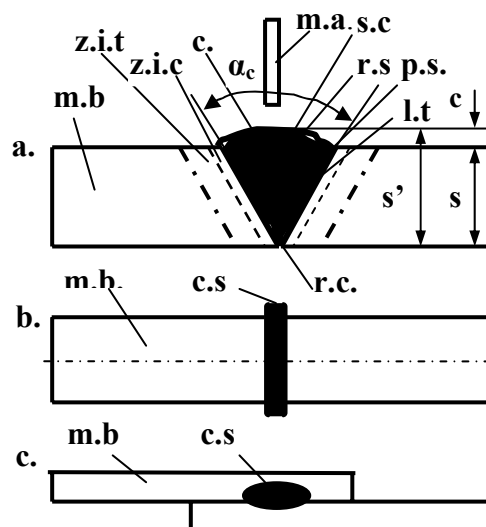
**s'** - grosimea reală (practică) a cusăturii, măsurată în mijlocul secțiunii transversale a sudurii;

**c** - supraînălțarea (îngroșarea) cusăturii, fiind înălțimea cu care cusătura depășește suprafața superioară a metalului de bază;

**b<sub>c</sub>** - lățimea cusăturii (dimensiunea maximă a sudurii măsurată în exterior, perpendicular pe direcția de sudare);

**l<sub>c</sub>** - lungimea cusăturii (lungimea reală a cusăturii sudate);

**α** - unghiul cusăturii (măsurat între liniile laterale de topire);



**Fig.1.2.1.** Îmbinări sudate (a-prin topire; b-prin presiune; c-prin puncte).

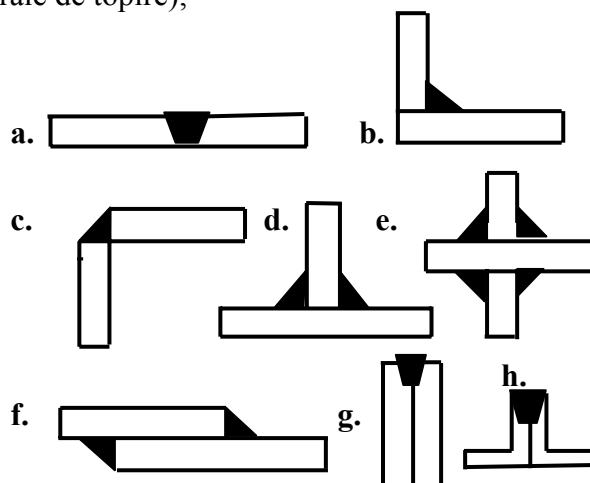
### 1.2.2. Clasificarea îmbinărilor sudate.

#### a. După poziția reciprocă a pieselor:

Se deosebesc următoarele tipuri de

îmbinări sudate:

- a.-cap la cap;
- b.-în colț interior;
- c.-în colț exterior;
- d.-în T;
- e.-în cruce;
- f.-prin suprapunere;
- g.-în muchie;
- h.-cu margini răsfrânte;



**Fig.1.2.2.** Tipuri de îmbinări

**b. După numărul de treceri:**

(Fig.1.2.3.)

- a. dintr-o trecere;
- b. din mai multe treceri.

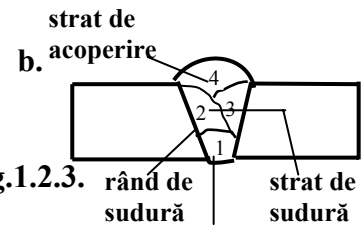
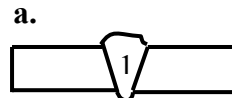


Fig.1.2.3.

**c. După părțile sudate:**

(Fig.1.2.4.)

- a. dintr-o parte;
- b. din ambele părți.

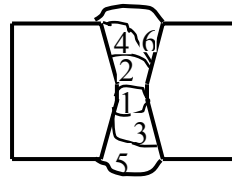


Fig.1.2.4.

**d. După continuitate:**

(Fig.1.2.5.)

- a. cusături continue;
- b. cusături discontinue.



Fig.1.2.5.

**e. După direcția cusăturii față de direcția de solicitare:**

(Fig.1.2.6.)

- a. cusături frontale;
- b. cusături laterale;
- c. cusături înclinate.

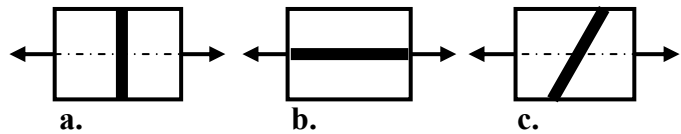


Fig.1.2.6.

**1.2.3. Pozițiile de sudare** (conform SR ISO 6947-1994)

Poziția de execuție a sudării poate fi exprimată fie prin unghiurile pe care linia mediană OH a rădăcinii cusăturii formează cu direcția orizontală  $\alpha$  și linia mediană OV a deschiderii rostului închide cu verticală  $\beta$ , (Fig.1.2.7.) fie prin simboluri convenționale notate cu A pentru îmbinările cap la cap și B pentru îmbinările în colț. La **îmbinările sudate cap la cap** se deosebesc următoarele patru poziții de sudare (Fig.1.2.8.):

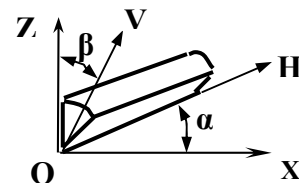


Fig. 1.2.7.

**A1-orizentală** ( $\alpha = 0 \pm 5^0$ ;  $\beta = 0 \pm 10^0$ );

**A2-orizentală pe perete vertical** (în cornișe) ( $\alpha = 0 \pm 5^0$ ;  $\beta = 90 \pm 20^0$ );

**A3-peste cap** (de plafon) ( $\alpha = 0 \pm 15^0$ ;  $\beta = 180 \pm 15^0$ );

**A4-verticală urcătoare**  $\uparrow$  sau **coborâtoară**  $\downarrow$  ( $\alpha = 90 \pm 10^0$ ;  $\beta = 0 \dots 180^0$ );

La **îmbinările sudate în colț** pozițiile corespunzătoare sunt următoarele:

**B1-orizentală cu un perete vertical** ( $\alpha = 0 \pm 5^0$ ;  $\beta = 45 \pm 10^0$ );

**B2-orizentală în igheab** ( $\alpha = 0 \pm 5^0$ ;  $\beta = 0 \pm 10^0$ );

**B3-peste cap** (de plafon) ( $\alpha = 0 \pm 15^0$ ;  $\beta = 135 \pm 45^0$ );

**B4-verticală ascendentă**  $\uparrow$  sau **descendentă**  $\downarrow$  ( $\alpha = 90 \pm 10^0$ ;  $\beta = 0 \dots 180^0$ );

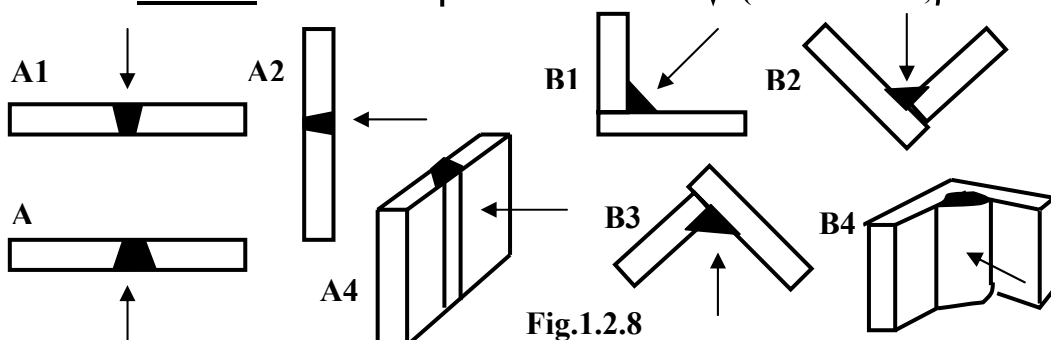


Fig.1.2.8

### 1.3. ROSTURILE DE SUDARE.

#### 1.3.1. Definiții.

**Rostul de sudare** este spațiul liber de o anumită formă geometrică, care se lasă între piesele de îmbinat în vederea asigurării pătrunderii sudurii pe toată grosimea metalului de bază. Forma și dimensiunile rosturilor depind de o serie de factori, dintre care importanță mai mare prezintă următorii:

- calitatea și grosimea metalului de bază;
- proprietățile necesare ale îmbinării sudate;
- metoda de sudare;
- calitatea materialelor adaos;
- poziția de sudare și accesibilitatea locului de îmbinare;

**Elementele rosturilor** în mare parte sunt notate prin cotele de dimensiuni caracteristice (Fig.1.3.1.):

- b** - deschiderea rostului (mm);
- $\alpha$**  - unghiul rostului (grad.);
- h** - înălțimea rădăcinii rostului (mm);
- E** - lățimea rostului (mm);
- r** - raza rostului (mm);
- s** - grosimea metalului de bază (mm);
- $l_r$**  - lungimea rostului (mm);

În afara acestora se mai definesc următoarele noțiuni:

- rădăcina rostului;
- muchia rostului;
- suprafața rostului etc.

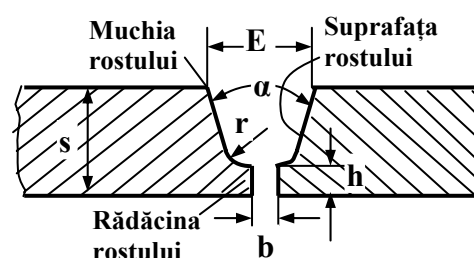


Fig.1.3.1. Elementele rostului de sudare.

**Clasificarea** rosturilor de sudare se face în funcție de forma geometrică și gradul de simetrie a secțiunii transversale. Astfel se deosebesc rosturi;

- simetrice sudate dintr-o parte;
- simetrice sudate pe ambele părți;
- asimetrice sudate dintr-o parte;
- asimetrice sudate din ambele părți;

După forma geometrică rosturile pot fi prelucrate în: **I, V, Y, U, X, 2U** etc.

**Prelucrarea** rosturilor se face prin metode termice, sau mecanice prin așchiere sau forfecare. De regulă tăierea elementelor constructive din semifabricatele laminate se face prin metode termice (cu flacăra și jet de oxigen, cu plasmă, cu arc electric, laser etc.), urmată de prelucrarea mecanică prin frezare, strunjire, rabotare, polizare etc.

#### 1.3.2. Rosturile îmbinărilor sudate cap la cap.

**a. Rosturile în I** se caracterizează prin tăierea și prelucrarea perpendiculară pe suprafața tablei a rostului de sudare (Fig.1.3.2.). Este cel mai economic rost, deoarece prelucrările mecanice sunt minime, pierderile de metal sunt reduse, necesarul de metal adaos este mic, iar productivitatea procesului de sudare este mare. Rosturile în I pot fi sudate dintr-o parte sau din ambele părți, dintr-o trecere sau două treceri. Cel mai frecvent se aplică la procedeele de sudare cu surse puternice de căldură, de pătrundere mare (MAG/MIG, sub strat de flux, în baie de zgură, cu plasmă, laser, fascicul de electroni, prin presiune în stare solidă etc.). Șocul termic fiind mare se pot suda numai oțelurile carbon, slab aliate sau inoxidabile cu conținut scăzut de carbon, aluminiu, titan și aliajele lor. Apare pericolul de supraîncălzire și de formare de fisuri în apropierea cusăturii sudate. De regulă se aplică la table cu grosimea de  $s = 1-14$  mm, lăsând un rost de  $b = 0,5-5$  mm.

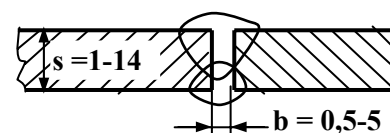


Fig.1.3.2. Rostul în I.

**b. Rosturile în V** sunt prelucrate prin teșire pe toată grosimea metalului de bază, dimensiunea cea mai importantă fiind unghiul rostului, care variază între  $\alpha = 30 - 90^\circ$  (Fig.1.3.3.). Inclinarea se poate obține direct prin tăiere termică, sau poate fi realizată ulterior prin frezare. Este un rost mai puțin economic, pierderea de metal este mare, iar necesarul de metal adaos ridicat. Însă pătrunderea sudurii este foarte bună pe toată grosimea metalului de bază, nu sunt necesare surse puternice de căldură, supraîncălzirea și topirea metalului de bază sunt mici. Pentru evitarea scurgerii băii de sudură la rădăcina cusăturii este necesară susținerea băii de metal topit cu suport de cupru, pernă de flux sau bandă de oțel. Sudarea se face din mai multe treceri, cu recomandarea de a resuda rădăcina din partea opusă. Accesul la cusătură este foarte bun, fiind recomandat la poziția de sudare peste cap și în locuri greu accesibile.

Proprietățile îmbinărilor sudate în rosturi în V rezultă foarte bune, cusătura este formată mai mult din metalul adaos, pericolul de fisurare este redus, iar structura va fi fină. Rosturile în V se aplică în majoritatea cazurilor la oțeluri aliate și înalt aliate sensibile la supraîncălzire și fisurare, ușor călibile, dar pot fi utilizate și la sudarea Cu, Al, Ni, Ti și aliajele lor, cu grosimea de  $s = 3-32 \text{ mm}$ , prin procedee manuale de sudare cu arc electric și electrod învelit, WIG, sau flacără oxi-acetilenică.

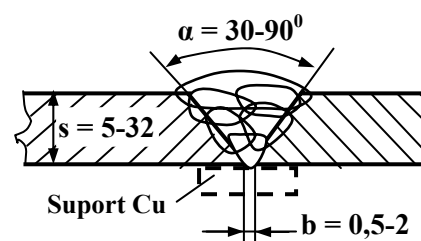


Fig.1.3.3. Rostul în V.

**c. Rosturile în Y** sunt cele mai aplicate la realizarea construcțiilor sudate, pentru sudarea tablelor de oțeluri carbon, slab aliate, inoxidabile, de Cu,Al,Ni,Ti și aliajele lor cu grosimea de  $s = 5-36 \text{ mm}$ , putând aplica aproape toate metodele mai importante de sudare prin topire cu pătrundere medie și mare (cu arc electric și electrod învelit, WIG, MAG, MIG, sub strat de flux, cu plasmă, cu flacără etc.). Îmbinările sudate rezultă de calitate bună, pericolul de supraîncălzire și de scurgere a băii de sudură este redus, pierderile de metal sunt mai mici, iar structura rezultă fină deoarece sudarea se realizează din mai multe treceri (Fig.1.3.4.). Deschiderea și unghiul rostului în Y sunt mai mici, ( $b=1-3 \text{ mm}$ ,  $\alpha = 22-60^\circ$ ), iar înălțimea mai mare a rădăcinii rostului ( $h = 2-8 \text{ mm}$ ) susține baia de sudură. Totuși pentru asigurarea unei calități mai bune a îmbinării, este recomandată resudarea din partea opusă a rădăcinii rescobite în prealabil prin crăițuire sau frezare.

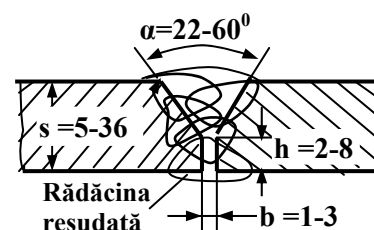


Fig.1.3.4. Rostul în Y.

**d. Rosturile în U** sunt caracteristice pentru sudarea dintr-o parte a tablelor de grosime mare cu  $s=14-60 \text{ mm}$ , puternic solicitate static, dinamic, la oboseală și la temperaturi ridicate sau sub  $0^\circ\text{C}$ . Prin aplicarea lor se poate realiza o pătrundere foarte bună pe toată grosimea metalului de bază, aplicând procedee de sudare cu surse de căldură mai puțin intense (sudarea cu arc electric și electrod învelit, sudarea WIG, MAG, MIG, sub strat de flux). Sudarea are loc din mai multe treceri, la care participarea metalului de bază la formarea cusăturii este mai redusă. Proprietățile mecanice ale îmbinării sudate rezultă a foarte bune, cu tensiuni și deformații minime, fără pericol de fisurare a cusăturii. Pentru siguranță și în cazul de față se recomandă scobirea și resudarea rădăcinii cusăturii.

Așa cum rezultă și din figura 1.3.5., unghiul rostului se prelucurează la valori și mai mici ( $\alpha=16-40^\circ$ ), iar raza rostului se adoptă la  $r = 3-6 \text{ mm}$ . Asemenea rosturi vor fi prevăzute mai mult pentru sudarea oțelurilor carbon, aliate sau înalt aliate., însă trebuie avut în vedere costul ridicat al pregătirii, sudării și verificării îmbinării, precum și pierderea și consumul ridicat de metal de bază și de adaos.

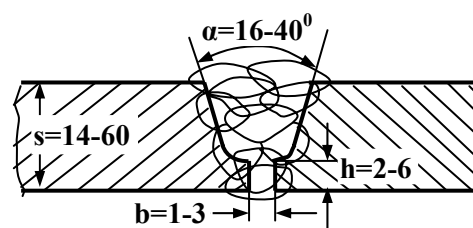


Fig.1.3.5. Rostul de sudare în U.



e. **Rosturile în X** sunt de fapt două rosturi în Y dispuse pe ambele fețe ale tablelor de îmbinat, fiind varianta cea mai aplicată la sudarea pe cele două părți a tablelor groase cu  $s = 16-60$  mm din oțelului carbon, slab aliate, aliate sau înalt aliate, respectiv din metale și aliaje neferoase (Al, Cu, Ti, Ni etc.). Se sudează cu aceleași metode de sudare ca și rosturile în Y, obținând proprietăți mecanice foarte bune, pătrundere bună, consumuri și pierderi reduse de material și tensiuni și deformații mici, deoarece contracțiile care apar la sudarea unui rând pe o parte se compensează la sudarea rândului respectiv pe partea celalaltă (Fig. 1.3.6.). Prelucrarea mecanică a rostului este însă mai greoaie, iar din cauza întoarcerii îmbinării sudate după fie care rând sudat face operația de asamblare-sudare mai puțin productivă, necesitând dispozitive de întoarcere de complexitate mai mare. Unghiurile rostului  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  pot fi egale sau diferite.

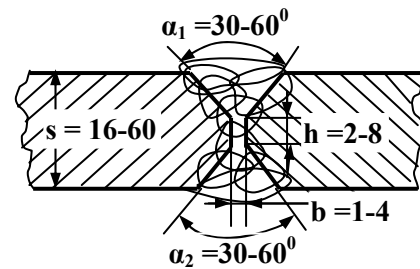


Fig.1.3.6. Rostul în X.

f. **Rosturile în 2 U** sunt aplicate în condiții asemănătoare ca și rosturile în simplu U, la table de oțeluri carbon, aliate sau înalt aliate cu grosime mare de  $s = 24-80$  mm (Fig.1.3.7.). Proprietățile de asemenea rezultă foarte bune, cu bună pătrundere pe toată grosimea materialului, cu tensiuni și deformații foarte mici și structură fină, fără defecte. Dimensiunile rostului sunt asemănătoare cu cele prezentate la rostul simplu U, însă prelucrarea este mult mai dificilă, iar sudarea care se face din mai multe treceri trebuie realizată alternativ pe cele două părți ale tablelor, întorcând construcția cu  $180^\circ$  după fiecare trecere. Sudarea se poate realiza manual sau mecanizat cu electrod învelit, MAG/MIG, WIG sau sub strat de flux. Rosturile în 2U sunt recomandate pentru construcții sudate puternic solicitate, chiar dacă grosimea metalului de bază nu impune adoptarea lui

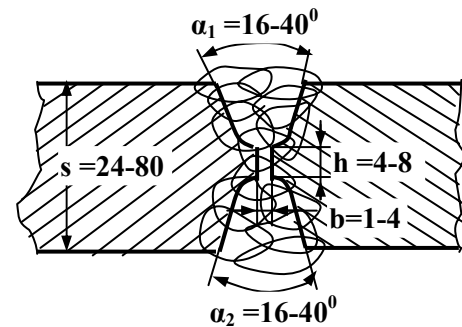
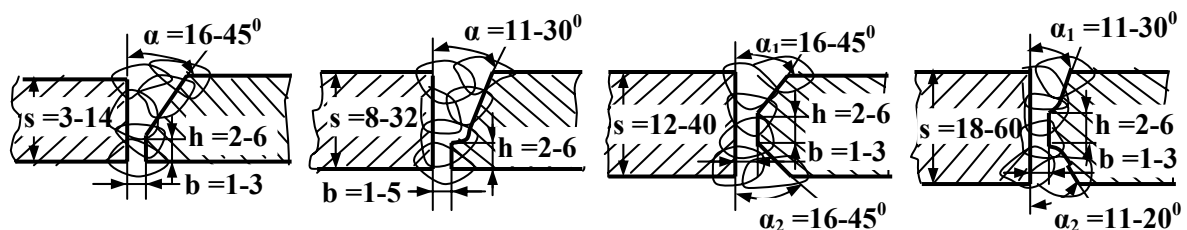


Fig.1.3.7. Rostul în dublu U.

g. **Rosturile asimetrice în  $\frac{1}{2}Y$ ,  $\frac{1}{2}U$ , K,  $\frac{1}{2}2U$**  sunt utilizate mai rar, numai în cazul unor îmbinări sudate greu accesibile, sau la sudarea în poziția orizontală pe perete vertical (A3), când tabla tăiată drept se află în partea inferioară în vederea susținerii băii de sudură. Rosturile asimetrice se prelucrează mai ușor, pierderea de metal de bază și consumul de metal adaos sunt mai mici, însă se sudează mai greu, pentru asigurarea pătrunderii necesare trebuie folosite surse de căldură mai puternice. Se aplică la majoritatea oțelurilor (carbon, slab aliate, inoxidabile), metalelor și aliajelor neferoase sudabile (Fig.1.3.8.).

Fig.1.3.8. Rosturile asimetrice  $\frac{1}{2}Y$ ,  $\frac{1}{2}U$ , K,  $\frac{1}{2}2U$ .

### 1.3.3. Rosturile îmbinărilor sudate în colt.

a. **Rosturile îmbinărilor sudate în colt interior** sunt cel mai frecvent utilizate pentru realizarea de construcții sudate cu elemente dispuse perpendicular la  $90^\circ \pm 15$ . Sudarea de obicei se realizează orizontal cu un perete vertical, însă în acest caz cusătura are o pătrundere mai mare în tabla orizontală, ceea ce face ca îmbinarea să fie asimetrică cu o rezistență mai

redușă. De aceea este mai recomandabilă sudarea îmbinărilor în colț interior în poziție orizontală în jgheab. Trebuie aplicate metode de sudare cu pătrundere mare, MAG, MIG, sub strat de flux, sau cu electrozi înveliți corăspunzători de topire adâncă, în așa fel în cât cusătura să cuprindă grosimea tablelor în adâncime cât mai mare.

Cel mai **simplic** rost de îmbinare în colț este fără prelucrarea marginii tablelor (Fig.1.3.9. a.), obținând la sudarea manuală cu electrod învelit cusături aproximativ triunghiulare cu înălțimea  $a = 0,7 \cdot s > 3$  mm. De regulă se aplică pentru sudarea tablelor de oțeluri carbon, slab aliate, aliate, inoxidabile, de Cu, Al, Ti și aliajele lor, cu grosimea de  $s = 3-24$  mm. Îmbinarea însă rezultă cu proprietăți slabe, deoarece cusătura nu îmbină decât fibrele superficiale ale tablelor sudate, apare o puternică concentrare a eforturilor unitare la rădăcina cusăturii din cauza devierii fluxului de forțe, ușor apar defecte de structură și fisuri la rădăcină datorită vitezelor mai mari de răcire a băii de sudură și a tensiunilor de contracție mai mari. Pentru evitarea fisurării rădăcinii cusăturilor de colț se recomandă lăsarea unui rost cu lățimea de  $b = 0,5-2$  mm. Sudarea poate fi realizată dintr-o trecere, sau din mai multe treceri, fiind avantajoasă completarea cusăturii din partea opusă. În cazul sudării prin procedee cu mare pătrundere (sub strat de flux, MAG/MIG), cusătura rezultă mai adâncă, ceea ce îmbunătățește mult rezistența îmbinării. Deși rosturile simple în colț sunt cele mai ieftine, pregătirea și asamblarea-sudarea sunt mai simple, fiind mult utilizate la realizarea construcțiilor sudate, se recomandă evitarea lor mai ales pentru îmbinările sudate puternic solicitate.

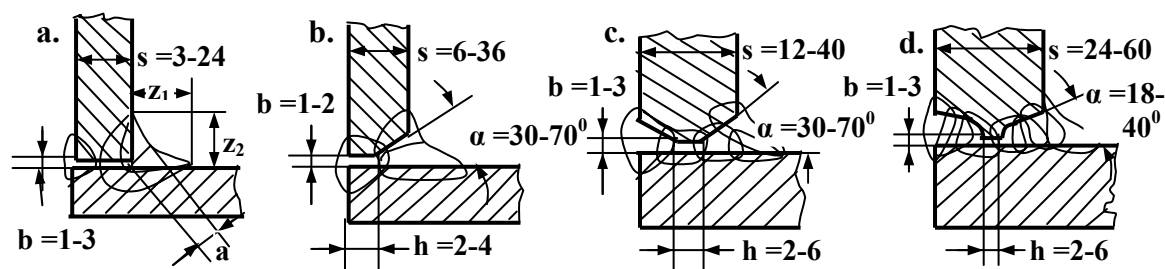


Fig.1.3.9. Rosturile îmbinărilor sudate în colț interior.

Pentru asigurarea unei pătrunderi pe toată grosimea materialului la îmbinările sudate realizate din table mai groase se utilizează variantele de rosturi prelucrate asimetric (Fig. 1.3.9.), în  $\frac{1}{2}Y$  (b), K (c), sau  $\frac{1}{2}2U$  (d). Desigur placa orizontală nu este prelucrată, astfel că sudura prinde doar fibrele superficiale de material, ceea ce reduce mult rezistența și siguranța în exploatare a structurilor sudate. Apare pierdere de metal, pregătirea rostului este mai complicată, iar asamblarea elementelor înaintea sudării trebuie să fie mai precisă. Cusăturile se realizează din mai multe treceri, sudând la început rândurile pe tabla orizontală.

**b. Rosturile îmbinărilor sudate în colț exterior** servesc la sudarea cusăturilor din afara unghiului dintre tablele dispuse la  $90^\circ \pm 15^\circ$ , asigurând astfel cuprinderea de către cusătura realizată a fibrozității materialelor îmbinate pe toată grosimea metalului de bază. Ca urmare rezistența acestor îmbinări va fi mult mai mare față de îmbinările în colț interior, rămânând desavantajul concentrării de eforturi unitare de exploatare la rădăcina cusăturii și dificultățile tehnologice legate de operațiile de pregătire și asamblare-sudare care trebuie să fie foarte precise.

În figura 1.3.10. sunt prezentate variantele de rosturi de îmbinare în colț exterior neprelucrate în prealabil. În toate cazurile tablele trebuie potrivite la mare precizie înaintea sudării, procesul de sudare trebuie foarte bine centrat față de rost, iar la rădăcina cusăturii trebuie asigurată prin susținerea băii de sudură cu suport de Cu, sau pernă de flux. În toate cazurile este benefică resudarea rădăcinii cusăturilor din interiorul îmbinării, pentru eliminarea nepătrunderilor și reducerea concentrării eforturilor de exploatare. Sudarea în varianta a. se poate face cu electrozi înclinați la  $45^\circ$ , sau cu tablele dispuse la  $45^\circ$ , prin toate metodele de sudare cu arc electric sau cu plasmă, asigurând buna pătrundere a sudurii în metalul de bază. Varianta b. permite o mai bună asamblare a tablelor prin suprapunerea de

$c = 3-5$  mm, iar la varianta  $c$  rostul în I asigură o mai ușoară sudare a îmbinării cu electrod vertical, însă fibrele de material din tabla verticală nu sunt prinse în totalitate în cusătura sudată. Varianta  $d$ , aplicată la table mai subțiri se sudează fără sau cu puțin metal adaos, prin contopirea muchiei tablei verticale cu marginea tablei orizontale.

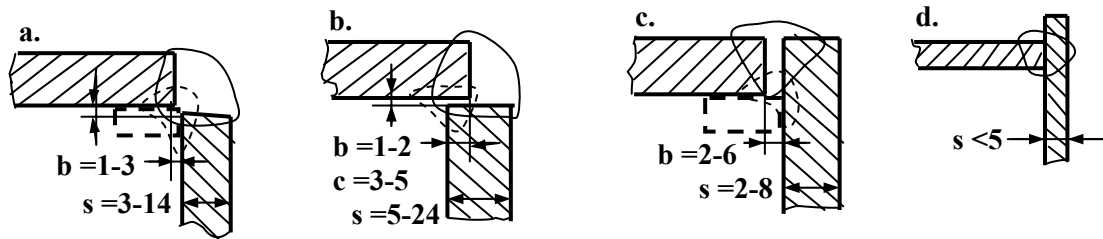


Fig.1.3.10. Rosturile neteșite pentru sudarea în colț exterior.

Pentru sudarea în colț exterior a tablelor mai groase se recomandă aplicarea unor rosturi asimetrice ( $\frac{1}{2}Y$ ,  $\frac{1}{2}U$ ), sau simetrice ( $Y$ ,  $U$ ). Sudarea se realizează din mai multe treceri, cu suporti de susținere a băii de sudură și resudarea rădăcinii cusăturii, fiind posibilă aplicarea procedeele de sudare cu pătrundere mai mică (cu arc electric și electrod învelit, WIG, MAG, MIG etc.). Formele și dimensiunile acestor rosturi sunt prezentate în figura 1.3.11, cu remarcă că acestea seamănă cu rosturile respective aplicate pentru îmbinările sudate cap la cap și prelucrarea, respectiv asamblarea-sudarea de asemenea crează aceleași avantaje și dezavantaje deja tratate în cap. 1.3.2.

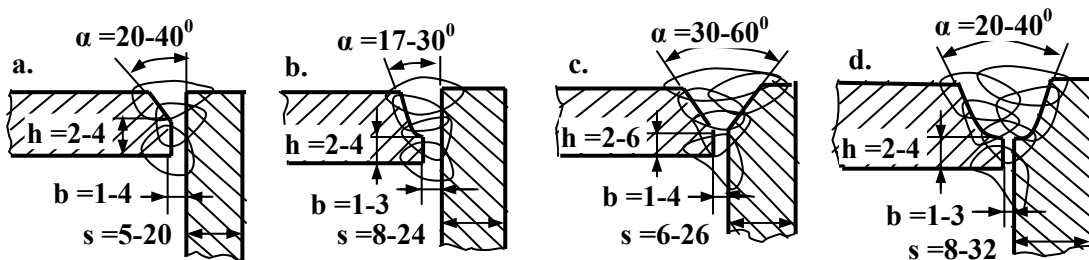


Fig.1.3.11. Rosturile prelucrate pentru îmbinările sudate în colț exterior.

**c. Rosturile îmbinărilor sudate în T** sunt destinate îmbinării a două table dispuse la  $90^\circ$ , cu una sau două cusături de colț interior realizate pe cele două părți ale tablei verticale, cu electrozi, sau capete de sudare înclinați la  $45^\circ \pm 15^\circ$  (Fig.1.3.12.). De obicei se sudează cu arc electric și electrod învelit, WIG, sau MAG/MIG, cu regimuri de pătrundere mare. Uneori îmbinarea în T poate fi realizată între trei table dispuse la  $90^\circ$ .

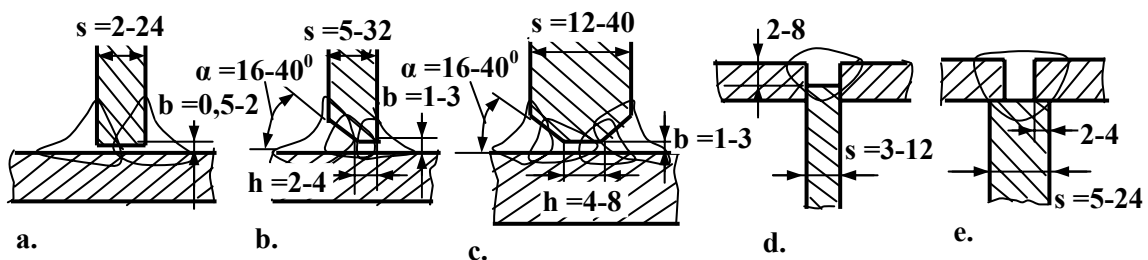


Fig.1.3.12. Rosturile îmbinărilor sudate în T.

**d. Rosturile îmbinărilor sudate prin suprapunere** sunt prezentate tot în acest subcapitol, deoarece și în cazul de față cusăturile sunt triunghiulare ca la îmbinările sudate în colț interior, având aceeași caracteristici și proprietăți slabe. Se deosebesc îmbinări sudate prin simplă suprapunere (a.), prin simpla suprapunere cu margini îndoite pentru a aduce tablele la același nivel (b.) și prin suprapunere cu eclise (c.) (Fig.1.3.13.). În toate cazurile pregătirea tablelor este foarte simplă, asamblarea nu necesită precizie deosebită, iar sudarea este ușoară, prin metodele de sudare manuale cu arc electric și electrod învelit, MAG, MIG sau WIG.

Trebuie avut în vedere însă, că proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate prin suprapunere rezultă foarte slabe din cauza concentrațiilor de linii de forță la rădăcina cusăturii, care este solicitată complex la întindere, forfecare și răsucire, iar cusătura nu prinde decât fibrele superficiale ale tablelor suprapuse. Ca urmare aplicarea acestor rosturi și îmbinări nu este recomandată, decât pentru asamblări solicitate static, la eforturi de exploatare reduse. De asemenea apare un consum mai mare de metal de bază la porțiunile de suprapunere, care îngreunează inutil construcția sudată.

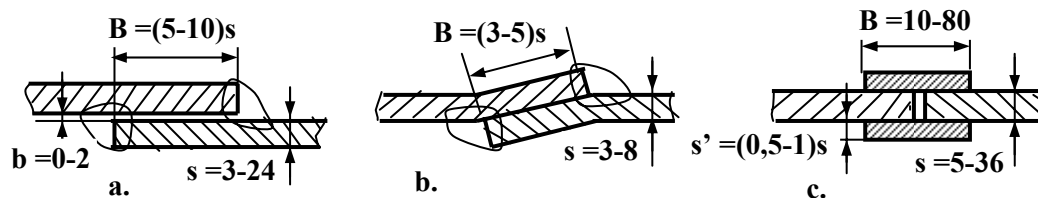


Fig.1.3.13. Rosturile îmbinărilor sudate prin suprapunere.

### 1.3.4. Rosturile unor îmbinări sudate speciale.

a. **Rosturile îmbinărilor sudate cu margini răsfrânte** se aplică numai la table subțiri cu grosimea de  $[s = 0,5-5 \text{ mm}]$ , care se pot deforma la margine la rece prin îndoire, sau ambutisare pe o lățime egală cu grosimea metalului de bază. Partea îndoită se sudează în muchie de regulă fără metal adaos, aplicând procedeele manuale de sudare cu arc electric, flacăra, sau plasmă. Marginea răsfrântă evită străpungerea tablelor subțiri, însă rezistența îmbinării este redusă deoarece marginile sudate în muchie prezintă o comportare foarte slabă la solicitări.

Acest tip de rost este aplicat numai pentru rezervoare, vase, cutii, carcase, profile îndoite etc. care funcționează la presini normale, fără solicitări însemnate. Rosturile îmbinărilor sudate cu margini răsfrânte sunt identice atât în cazul sudurilor cap la cap, cât și la cele în colț, sau în T (Fig.1.3.14.).

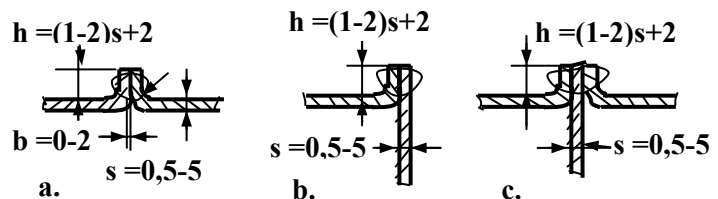


Fig.1.3.14. Rosturile cu margini răsfrânte.

b. **Rosturile îmbinărilor sudate în muchie** au formă în I sau în V, cu dimensiuni asemănătoare cu cele de la îmbinările sudate cap la cap (Fig.1.3.15.). Tablele suprapuse pe toată suprafața lor pot fi sudate direct fără teșirea marginilor, prin procedee de sudare cu pătrundere adâncă, sau cu teșirea muchiilor până la adâncimea de  $1,5.s$ . Imbinările nu rezistă decât la solicitări mici, având un rol mai mult de fixare a tablelor.

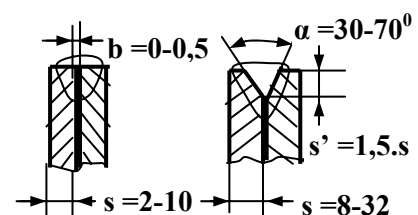


Fig.1.3.15. Rosturile în muchie.

c. **Rosturile îmbinărilor sudate în găuri** sunt de fapt îmbinări prin suprapunere la care pentru mărirea rezistenței în tabla superioară sunt date niște găuri sau decupări circulare, ovale etc. care apoi sunt sudate în colț, prin procedee manuale de sudare cu arc electric (Fig.1.3.16.). Dacă găura are diametrul mic și este complet umplută cu sudură, cusătura se numește electronit (Fig.1.3.17.).

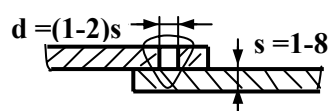


Fig.1.3.17. Electronit.

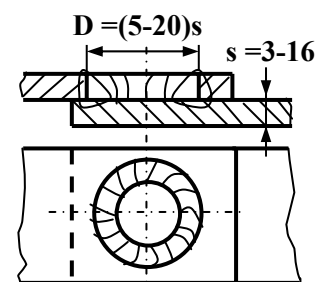


Fig.1.3.16. Rostul îmbinării sudate în găură.

## 1.4. ALEGEREA FORMEI ROSTURILOR DE SUDARE.

Alegerea corectă a formei și dimensiunilor îmbinărilor sudate, precum și a rosturilor corespunzătoare prezintă importanță deosebită pentru asigurarea calității cusăturilor sudate. Pentru o alegere corectă trebuie avute în vedere următoarele criterii de bază:

- **criteriul constructiv** (grosimea metalului de bază, complexitatea, rigiditatea construcției sudate, accesibilitatea îmbinărilor în vederea sudării etc.);
- **criteriul metalurgic** (compoziția metalului de bază, sudabilitatea materialului, structura, impuritățile, compatibilitatea cu metalul adaos etc.);
- **criteriul tehnologic** (procedeul de sudare, condițiile și poziția de sudare, starea de tensiuni și deformații, preîncălzirile și tratamentele termice aplicate etc.);
- **criteriul de exploatare** (felul, mărimea și natura solicitărilor, stare de tensiuni de exploatare, condițiile specifice de funcționare, coroziunea, temperaturile ridicate, sau sub  $0^{\circ}$ , importanța construcției etc.);
- **criteriul economic** (volumul operațiilor de pregătire, asamblare, sudare, pierderile de metal de bază, consumurile de materiale adaos și auxiliare etc.).

Pentru ușurarea alegerii rosturilor de sudare există o serie de standarde și normative, care în funcție de metoda de sudare și grosimea metalului de bază indică formele și dimensiunile cele mai avantajoase pentru fiecare tip de metal de bază.

### 1.4.1. Criteriul constructiv.

Cea mai mare importanță are **grosimea s** (mm) a metalului de bază, care are o influență negativă asupra pătrunderii cusăturilor sudate. Astfel cu cât materialul este mai gros trebuie adaptate rosturi din ce în ce mai deschise, în următoarea ordine: **I, Y, V, U, X, 2U**. De asemenea la cusături mai groase crește unghiul și deschiderea rostului, pentru asigurarea accesului sursei de căldură la rădăcina cusăturii și la rândurile de sudare.

**Complexitatea și rigiditatea** construcției sudate duc la creșterea pericolului de fisurare a îmbinărilor sudate, ceea ce impune alegerea rosturilor care se sudează din mai multe treceri, în formă de **Y, U, X, 2U**. Rosturile simetrice sudate pe ambele fețe **X, 2U**, sunt deosebit de avantajoase pentru reducerea pericolului de tensionare, deformare și fisurare a îmbinărilor sudate, deoarece rândurile de sudură depuse alternativ pe cele două părți compensează reciproc tensiunile de contracție și realizează un tratament termic de recoacere pentru straturile depuse anterior, având ca efect îmbunătățirea plasticității materialului depus.

**Accesibilitatea** îmbinărilor sudate caracterizează posibilitatea de realizare a îmbinărilor sudate în locuri unde capul sau electrodul de sudare nu poate fi menținut în poziția corectă, sursa de căldură nu poate topi suprafețele rostului în mod uniform și sudorul nu poate urmări formarea băii de sudare. În asemenea cazuri se recomandă aplicarea de rosturi deschise prelucrate în **V** sau **U**.

### 1.4.2. Criteriul metalurgic.

Acest criteriu este legat în primul rând de caracteristicile metalului de bază. Cel mai important criteriu este **compoziția chimică a materialului**, care determină o serie de proprietăți importante pentru asigurarea calității îmbinărilor sudate, cum sunt plasticitatea, tenacitatea, călibilitatea, transformările structurale etc. Ca urmare la sudarea **oțelurilor carbon** și slab aliate cu conținut redus de carbon, unde vitezele mai mari de încălzire-răcire sunt bine suportate și nu se formează structuri de supraîncălzire, sau de călire, se pot prevedea rosturi mai închise în **I, Y, X, K**, care pot fi sudate prin procedee cu surse puternice de căldură fără pericol de fisurare sau deformare-tensionare. **Oțelurile aliate** au rigiditate mai mare, sunt ușor călibile, astfel că baia de sudare trebuie formată mai mult din metalul adaos, pătrunderea sudurii trebuie să fie mai mică, iar vitezele de încălzire-răcire reduse, fiind recomandabilă adoptarea de rosturi în **V, U, ½2U**, care se sudează cu regimuri mai puțin intense. La sudarea

**metalelor și aliajelor neferoase**, cu conductibilitate termică ridicată, de asemenea sunt mai potrivite rosturile deschise, la care nu este necesară topirea în adâncime mare a suprafețelor rosturilor, ceea ce ar duce la pierderi mari de căldură. **Împuritățile**, prezențe de segregatii, structuri grosolane, starea de deformare plastică la rece etc. de asemenea sunt motive care determină utilizarea de rosturi deschise, ca să nu apară fenomene de îmbogățire prin difuzie în elemente nedorite a băii de sudură, sau să apară structuri și mai grosolane, urmărind o participare cât mai redusă a metalului de bază la formarea cusăturii.

### 1.4.3. Criteriul tehnologic.

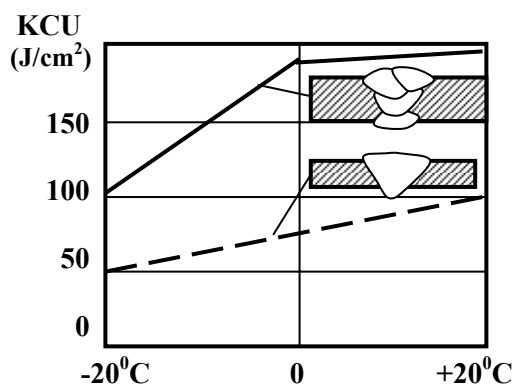
Criteriul tehnologic se referă în primul rând la **procedeele de sudare**, caracterizat prin puterea sursei de căldură, concentrarea fluxului termic de căldură, protecția și purificarea băii de sudură, posibilitatea de reglare și menținere corectă a parametrilor de sudare etc. Ca urmare la procedeele de sudare manuale, cu pătrundere redusă și calitate metalurgică mai slabă (sudarea cu arc electric și electrod învelit, sudarea WIG, sudarea cu flacăra etc.), rosturile trebuie să fie mai deschise în **Y, V, U, X, ½2U**, iar la sudarea cu pătrundere mare cu arc electric acoperit sub strat de flux, în atmosfere protectoare MAG, MIG, cu plasmă sau fașcicul de electroni, rosturile pot fi mai închise în **I, Y, X**. La sudarea în baie de zgură topită, sudarea alumino-termică, sau sudarea cap la cap prin procedeele de îmbinare în stare solidă se utilizează numai cu rosturi neteșite, pregătite în **I**.

Sudarea prin procedee care formează zgură multă și vâscoasă impune aplicarea de rosturi mai deschise, iar dacă se formează o atmosferă bună de protecție rostul poate fi mai închis. Preîncălzirea metalului de bază în vederea sudării, sau aplicarea de tratamente termice ulterioare fac ca rosturile să fie mai închise, iar sudarea în condiții atmosferice nefavorabile, adică în vânt, în ploaie, sau la temperaturi sub 5<sup>0</sup>C impune aplicarea de rosturi mai deschise.

De asemenea **poziția de sudare** are o importanță mare la alegerea formei rosturilor. La sudarea în cornișă (orizontal pe perete vertical), rosturile trebuie să fie asimetrice, ca tabla inferioară să nu fie teșită pentru susținerea băii de sudare (**½Y, ½V, ½U, K, ½2U**). În cazul sudării peste cap rostul întotdeauna trebuie să fie prelucrată în **V**, cu unghiul rostului mai mare (60-120<sup>0</sup>).

### 1.4.4. Criteriul de exploatare.

În primul rând, la alegerea felului îmbinărilor și rosturilor de sudare se ține cont de solicitările care apar în timpul exploatării construcțiilor sudate. În cazul solicitărilor statice reduse sau medii, pentru îmbinările de asamblare, montare, temperaturi de exploatare normale (5-30<sup>0</sup>C), construcții sudate de importanță redusă rosturile de sudare pot fi mai închise în **I, Y**, procesul de sudare fiind realizat cu regimuri mai intensive. Pentru solicitări mari, statice, dinamice, variabile, condiții de exploatare intensive, la temperaturi ridicate (100-600<sup>0</sup>C), sau sub 0<sup>0</sup>C (-5-80<sup>0</sup>C), în condiții de coroziune, eroziune, radiații nucleare etc., pentru construcții sudate importante, care reprezintă valori mari sau periclitează viața umană, se pot aplica numai îmbinări sudate cap la cap, cu rosturi deschise (**Y, U, X 2U**) sudate din mai multe treceri, prin procedee de sudare de calitate superioară. Trebuie evitate cu desăvârșire în aceste cazuri îmbinările sudate în colț, prin suprapunere sau cu margini răsfrânte. În toate cazurile, pentru evitarea defectelor de la rădăcina cusăturii, se impune eliminarea prin crăițuire și resudarea rădăcinii cusăturilor sudate. Din figura 1.4.1. rezultă că reziliența la diferite temperaturi de exploatare a îmbinărilor sudate din mai multe treceri este de două ori mai mare, față de îmbinarea sudată realizată dintr-o trecere în rost în formă de I.



**Fig.1.4.1.** Reziliența îmbinărilor sudate dintr-o trecere și din mai multe treceri la diferite temperaturi de exploatare.

### 1.4.5. Criteriul economic.

Costul de fabricație a construcțiilor sudate, între altele, este determinat de volumul operațiilor de pregătire și prelucrare a rosturilor de sudare, cantitatea de metal pierdut la formarea rosturilor, consumul de metal adaos pentru umplerea rostului, volumul operațiilor auxiliare de asamblare, manipulare, întoarcere a construcțiilor sudate, consumul de energie necesară sudării, productivitatea muncii la sudare etc. Ca urmare rosturile închise, sudate dintro-parte, în formă de **I** și **Y**, pot fi considerate cele mai economice, deoarece necesită un volum mai mic de lucrări de pregătire-asamblare-sudare, consum mai redus de materiale și energie, iar productivitatea muncii este mai mare. Deosebit de costisitoare sunt rosturile simetrice, sudate pe ambele părți (**K**, **X**,  $\frac{1}{2}\mathbf{2U}$ , **2U**), din cauza greutatea de prelucrare a rostului, a pierderilor și consumurilor mari de materiale și energie, sudării din mai multe treceri și a necesității întoarcerii cu  $180^{\circ}$  a construcției sudate după fiecare rând sudat, ceea ce reduce mult productivitatea și mărește însemnat cheltuielile de fabricație. Din punct de vedere economic, se poate stabili următorul șir al rosturilor de sudare, în ordinea creșterii cheltuielilor de producție: **I**,  $\frac{1}{2}\mathbf{Y}$ , **Y**,  $\frac{1}{2}\mathbf{V}$ , **V**,  $\frac{1}{2}\mathbf{U}$ , **U**, **K**, **X**,  $\frac{1}{2}\mathbf{2U}$ , **2U**.

Pentru alegerea rosturilor de sudare stau la dispoziție standardele de stat din România conform datelor din tabelul 1.4.1.. De asemenea uzinele mari de fabricație a construcțiilor sudate, precum și o serie de organisme de atestare-verificare a construcțiilor sudate (ISCIR, Registrul naval etc.) pun la dispoziție normative și tabele pentru alegerea rosturilor de sudare, care sunt obligatorii pentru proiectarea și producția de structuri sudate din domeniul respectiv.

În concluzie pentru alegerea corectă a formelor și dimensiunilor rosturilor de sudare se pot face următoarele recomandări de bază:

- utilizarea preferențială a îmbinărilor sudate cap la cap, care au rezistență superioară;
- aplicarea de rosturi închise, cu suprafețe plane, care sunt mai economice;
- asigurarea pătrunderii sudurii pe toată grosimea metalului de bază;
- adoptarea de rosturi simetrice, sudate pe ambele părți numai în cazuri bine justificate, deoarece sunt foarte costisitoare;
- aplicarea crăițurii și resudarea rădăcinii cusăturilor numai pentru solicitări mari;
- utilizarea susținerii băii de sudură numai în cazuri de forță majoră.

**Tab.1.4.1.** Standarde pentru alegerea formei și dimensiunilor rosturilor de sudare prin topire

Obiectul standardului	Nr. standard
Sudare cu arc electric cu electrod învelit, sudare cu arc electric în mediu de gaz protector și sudarea cu gaze prin topire. Pregătirea pieselor de îmbinat de oțel.	<b>SR EN 29692:1994</b>
Îmbinări sudate. Formele și dimensiunile rosturilor la sudarea oțelurilor sub strat de flux.	<b>STAS 6726-85</b>
Îmbinări sudate. Formele și dimensiunile rosturilor la sudarea electrică în baie de zgură.	<b>STAS 9559-82</b>
Sudarea în construcții navale. Formele și dimensiunile rosturilor și reprezentarea sudurilor pe desene.	<b>STAS 8456-69</b>
Îmbinări sudate. Formele și dimensiunile rosturilor la sudarea cuprului și aliajelor de cupru.	<b>STAS 9830-87</b>
Îmbinări sudate. Formele și dimensiunile rosturilor la sudarea aluminiului și aliajelor de aluminiu.	<b>STAS 10181-87</b>
Îmbinări sudate. Formele și dimensiunile rosturilor pentru sudarea oțelurilor placate.	<b>STAS 10595-76</b>
Îmbinări sudate cap la cap ale țevilor din oțel. Formele și dimensiunile rosturilor.	<b>STAS 12255-84</b>
Sudare. Toleranțe generale pentru construcții sudate. Dimensiuni pentru lungimi și unghiuri. Forme și poziții.	<b>SR EN ISO 13920:1998</b>

## 1.5. REPREZENTAREA SUDURILOR PE DESENE TEHNICE.

### 1.5.1. Definiții.

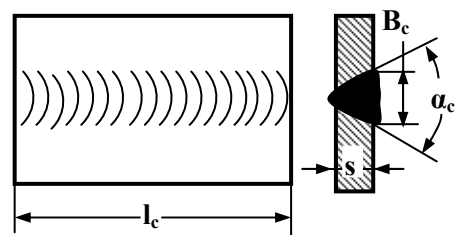
Îmbinările sudate sunt reprezentate pe desene tehnice prin cusăturile care trebuie să fie obținute, indicând forma și dimensiunile rosturilor, precum și o serie de date tehnologice de sudare. În prezent sudurile sunt indicate pe desene tehnice conform standardului de stat nr. **SR 735/1-87**, dar pot fi și alte reprezentări legiferate în diferite ramuri industriale sau în normative uzinale de construcții sudate. În toate cazurile este importantă notarea univocă, pe înțelesul executantului, a tuturor datelor privind îmbinările sudate, ca în urma realizării să se obțină toate proprietățile preconizate de către proiectantul structurii sudate.

Conform standardului de mai sus, reprezentarea sudurilor poate să fie: **-detaillată**, sau

**-convențională**.

**a. Reprezentarea detaillată** constă în desenarea cusăturilor sudate în vederea de sus, sau în secțiune perpendiculară pe cusătură (Fig.1.5.1.).

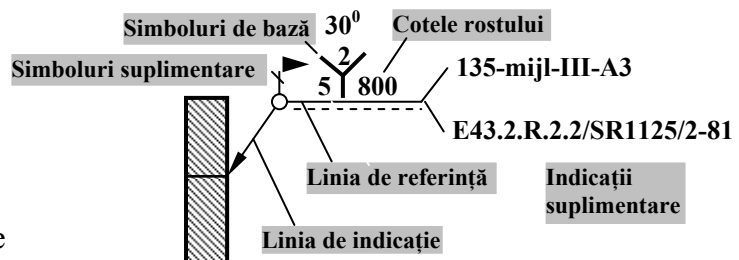
Aspectul în vedere se reprezintă prin linii curbe, care evidențiază suprafața cusăturii, iar în secțiune cusătura se reprezintă înnegrită, cu excepția desenelor la care se arată forma și dimensiunile rosturilor. Toate cotele cusăturii sunt trecute pe desen datele tehnologice fiind specificate la observații sau în caietul de sarcini. În general reprezentarea detaillată a sudurilor se aplică rar, fiind utilizate mai mult în publicații și cărți didactice sau de specialitate.



**Fig.1.5.1.** Reprezentarea detaillată a îmbinărilor sudate.

**b. Reprezentarea convențională** este o reprezentare simplificată, la care îmbinarea sudată atât în vederea de sus, cât și în secțiune transversală, este marcată printr-o linie mai subțire sau de aceeași grosime cu liniile de contur al desenului, indicând axa meridională a cusăturii (Fig.1.5.2.). Cusătura este însoțită de o serie de linii și simboluri, după cum urmează:

- linia de indicație;
- linia de referință;
- simboluri de bază;
- simboluri suplimentare;
- cotele dimensiunilor rostului;
- indicații suplimentare.



**Fig.1.5.2.** Reprezentarea convențională a îmbinărilor sudate.

Pe desenele de ansamblu nu se indică cusăturile sudate. Un subansamblu sudat se prezintă poziționat și hașurat ca o singură piesă, la care evidențierea elementelor componente se face cu linii mai subțiri decât linia de contur a ansamblului. Pentru subansamblu sudat se face un alt desen de sudare, la care componentele constructive sunt hașurate diferit și cusăturile sudate se indică conform sistemului de reprezentare convențională.

### 1.5.2. Linii indicatoare.

**a. Linia de indicație** este o linie înclinată subțire (C3), prevăzută cu o săgeată care este orientată pe linia meridiană a cusăturii sudate. Dacă numai una din piesele de sudat este prelucrată linia, de indicație în mod obligatoriu va fi orientată spre această.



b. **Linia de referință** este de aceeași grosime cu linia de indicație, fiind trasată orizontal în continuarea liniei de indicație paralel cu baza desenului, sau cu axa cusăturii, dar se admite și poziționarea ei pe verticală. Sub linia de referință (sau deasupra) se trasează o linie întreruptă subțire, care marchează poziția rădăcinii cusăturii. Dacă rădăcina cusăturii se află pe partea opusă poziției săgeții liniei indicatoare linia întreruptă este trasată sub linia de referință, iar dacă rădăcina este pe aceeași parte linia întreruptă se dispune pe linia continuă de referință. La cusăturile simetrice în **X**, **2U** etc. nu mai apare linia întreruptă, deoarece rădăcina se află în interiorul cusăturii (Fig.1.5.3.).

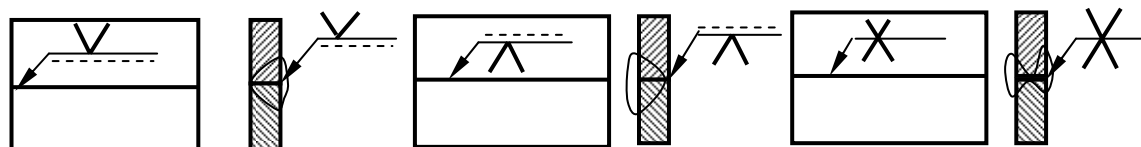


Fig.1.5.3. Dispunerea liniilor indicatoare la rosturile în V și X.

### 1.5.3. Simbolurile rosturilor de sudare.

a. **Simbolurile de bază** indică cu ajutorul unor semne convenționale formele rosturilor de sudare, indiferent de procedeul de sudare care se va aplica. Grosimea simbolurilor este identică cu grosimea cotelor înscrise, iar înălțimea este de  $(1-1,5)x$  mai mare. Forma simbolurilor de bază este prezentată în tabelul 1.5.1

Tab.1.5.1. Simbolurile de bază ale îmbinărilor și rosturilor de sudare.

Denumirea rostului	Aspectul rostului	Simbolul de bază	Denumirea rostului	Aspectul rostului	Simbolul de bază
Cu margini răsfrânte		∟	Punct sudat în gaură		⊏
Rost în I			Sudură în puncte		○
Rost în V		∨	Sudură în linie		⊕
Rost în Y		Y	Sudarea în colț cu margini răs.		∟
Rost în U		U	Sudare pe suport		∨
Rost în ½V		∨	Completare la rădăcină		∨
Rost în ½Y		Y	Sudare în ½ V în rost îngust		Y
Rost în ½U		U	Imbinare lipită prin suprapun.		≡
Rost în colț interior		∟	Imbinare lipită obligă		≡
Rost în muchie			Lipire prin bordurare		≡

b. **Simbolurile suplimentare** sunt atașate celor de bază, indicând forma suprafeței cusăturii, precum și prelucrările mecanice ulterioare aplicate suprafeței superioare sau a rădăcinii cusăturii. Astfel se indică dacă cusătura trebuie să aibă suprafață plană, convexă sau concavă, dacă prelucrarea ei se face în scopul îndepărtării supraînălțării cusăturii până la nivelul suprafeței tablei, dacă prin prelucrare se urmărește îndepărtarea neregularităților suprafeței cusăturii și realizarea unei treceri line spre suprafața metalului de bază, precum și îndepărtarea și resudarea rădăcinii cusăturii sudate (Tab.1.5.2.).

Simbolurile de bază și suplimentare se pot combina între ele, pentru a indica toate aspectele de formă prevăzute pentru asigurarea calității îmbinărilor sudate în condițiile date de exploatare.

**Tab.1.5.2.** Simbolurile suplimentare și combinația lor cu simbolurile de bază

Suprafață plană 			Îndepărtarea supra-înălțării cusăturii până la nivelul tablei 		
Suprafață convexă 			Prelucrarea cusăturii pt. trecere lină și îndepărtarea neregularităților 		
Suprafață concavă 			Prelucrarea și resudarea rădăcinii cusăturii 		

#### 1.5.4. Înscrierea cotelor.

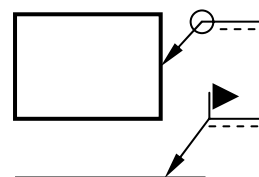
La stânga simbolului de bază se înscriu cotele referitoare la dimensiunile transversale ale cusăturii sudate ( $s$  - grosimea cusăturii), iar la dreapta lui cele longitudinale ( $l$  - lungimea cusăturii). Dimensiunile rostului ( $b$  - deschiderea rostului;  $\alpha$  - unghiul rostului;  $h$  - înălțimea rădăcinii rostului;  $E$  - lățimea rostului) se trec în spațiul disponibil deasupra sau dedesubtul simbolului. Dacă la îmbinările sudate cap la cap cusătura este complet pătrunsă pe toată grosimea metalului de bază, grosimea  $s$  nu se mai trece. La îmbinările sudate în colț interior, în fața simbolului se înscrie fie cota  $a$  - înălțimea triunghiului izoscel înscris în interiorul cusăturii, fie  $z$  - lungimea catetei orizontale ale triunghiului din secțiunea transversală a cusăturii. Dacă cele două catete au lungime diferită,  $z_1, z_2$ , acestea sunt trecuți sub formă de înmulțire  $z_1 \times z_2$ . Exemplificări privind înscrierea cotelor cusăturilor sudate sunt prezentate în tabelul 1.5.3.

**Tab.1.5.3.** Înscrierea cotelor îmbinărilor sudate.

Aspectul cusăturii	Înscrierea cotelor	Aspectul cusăturii	Înscrierea cotelor

#### 1.5.5. Indicații suplimentare.

a. **Sudarea pe contur** se indică cu un cerc plasat în punctul de întâlnire a liniei de indicație cu cea de referință (de exemplu la sudarea virolelor).  
b. **Sudarea la montaj** se marchează cu un fanion desenat în punctul de întâlnire a liniilor de indicație și de referință.

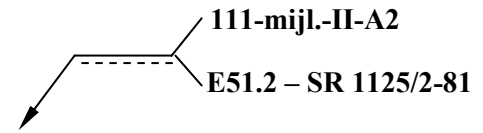


c. **Alte indicații** vor fi trecute după linia de refetință, în dreptul celor două linii înclinate:

-în dreptul liniei superioare se înscriu următoarele date:

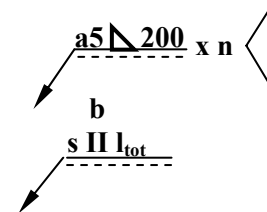
- cifra procedeeului de sudare (SR 8325-77);
- abaterile limită a dimensiunilor cusăturii;
- clasa de execuție a cusăturii (SR 7365-74);
- poziția de sudare, dacă diferă de cea orizontală.

-în dreptul liniei inferioare este înscrisă calitatea electrodului sau a metalului adaos.



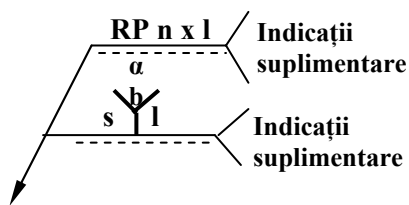
d. **Îmbinările identice** se prezintă odată, înmulțind simbolizarea unei îmbinări cu numărul cusăturilor identice.

Dacă sunt mai multe îmbinări identice cu lungime diferită, se va înscris lungimea totală a cusăturilor.



### 1.5.6. Notarea verificărilor nedistructive

Notarea procedeeelor de verificări nedistructive a îmbinărilor sudate se face pe o linie de referință asemănătoare cu cea de la înscrierea cusăturilor, care se trasează la capătul liniei de indicație prelungită. Procedeeul de verificare se simbolizează cu litere mari (Tab.1.5.7.), iar în continuarea simbolului se trece numărul de verificări pe lungimea de verificat (**n x l**), sau procentajul de cusături (de ex. **50%**) care se verifică prin metoda respectivă (SR 735/2-87).



Tab.1.5.7. Simbolizarea procedeeelor de verificare.

V - vizual (optic);	RR- radioscopic;
LP- cu lichide penetrante;	RI - prin ionizare;
RP- cu radiații penetrante;	TF- traductor magnetic;
PM-cu pulberi magnetice;	EA- emisie acustică;
US- cu ultrasunete;	CT- curenți turbionari.

### 1.5.8. Exemple de utilizare a simbolurilor.

Detailat	Convențional	Detailat	Convențional	Detailat	Convențional

## 2.2. SURSELE DE CURENT PENTRU SUDAREA CU ARC ELECTRIC

### 2.2.1. Caracteristicile de bază ale surselor de curent pentru sudarea cu arc electric

Sursele de curent utilizate pentru alimentarea arcurilor electrice de sudare sunt de construcție specială, robustă, care trebuie să asigure reglarea ușoară și menținerea constantă a parametrilor curentului de sudare, amorsarea ușoară și stabilitatea arcului electric, evitarea posibilităților de electrocutare etc.

Caracteristicile de bază ale surselor de curent pentru sudare sunt următoarele;

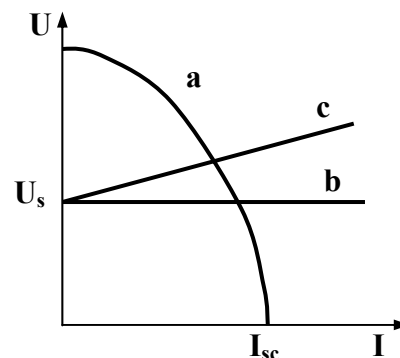
- tensiunea de mers în gol:  $U_0 = 45-90 \text{ V}$ ;
- tensiunea curnetului arcului electric de sudare:  $U_a = 20-75 \text{ V}$ ;
- intensitatea curentului de sudare:  $I_s = 30-500 \text{ A}$ ;
- curnetul maxim de scurtcircuit:  $I_{sc} = (1,2-1,4)I_s$ ;
- durata activă de sudare (raportul dintre timpul efectiv de sudare și timpul total de funcționare):  $DA$ , care se specifică pentru o anumită valoare a intensității curentului de sudare  $I_s$ . Recalcularea duratei pentru alte valori ai curentului de sudare se face cu relația:  $DA_1/DA_2 = I_{s1}/I_{s2}$ . De regulă durata activă are valoarea de 50 – 100%;

**Caracteristica externă** a sursei reprezintă variația tensiunii în funcție de intensitatea curentului de sudare,  $U_s = f(I_s)$ . Reprezentând grafic (Fig. 2.2.1), această caracteristică poate să aibă trei forme:

- **caracteristică coboritoare**, la care valoarea tensiunii scade pe măsura creșterii intensității curentului de sudare (**a**), relație aplicată la procedeele de sudare cu electrod învelit, sau la sudarea WIG, în argon cu electrod de wolfram;

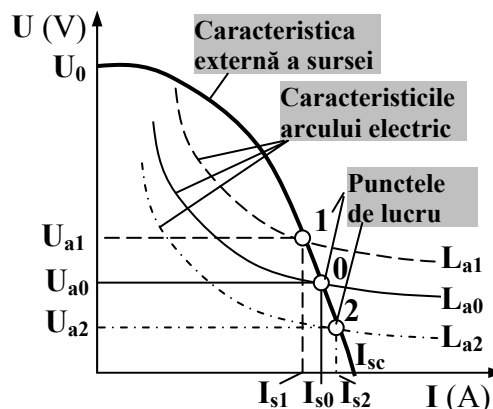
- **caracteristică rigidă**, la care tensiunea curentului se menține constantă, independent de valoarea intensității curentului de sudare (**b**).

- **caracteristică urcătoare**, la care tensiunea crește cu creșterea intensității curentului de sudare (**c**). Aceste două tipuri de caracteristici se aplică cu precădere la procedeele de sudare în atmosfere protectoare ( $\text{CO}_2$ , Ar), cu electrod fuzibil (MIG-MAG).



**Fig.2.2.1.** Caracteristicile externe ale surselor de curent pentru sudare cu arc electric.

**Stabilitatea sistemului sursă-arc** reprezintă relația dintre caracteristica arcului electric de sudare și caracteristica externă a sursei, intersecția dintre cele două curbe caracteristice reprezentând punctul de funcționare a sistemului. Pentru procedeele de sudare manuale cu arc electric și electrod învelit, sau cu electrod de wolfram (WIG), sursa de curent trebuie să aibă caracteristica externă coborătoare, pentru ca datorită modificării lungimii arcului, parametrii curentului de sudare să se modifice în așa fel încât efectul termic de încălzire a arcului să rămână constant (Fig. 2.2.2.). La creșterea lungimii arcului de la valoarea nominală  $L_{a0}$  la  $L_{a1}$  punctul de lucru se deplasează de la **0** la **1**, tensiunea arcului crește la  $U_{a1}$ , iar intensitatea curentului de sudare scade la valoarea  $I_{s1}$ , în așa fel încât produsul  $q = I_s \cdot U_a = \text{ct.}$  se menține constant, adică căldura dată de arcul electric se menține constantă, independent de lungimea arcului.



**Fig. 2.2.2.** Stabilirea punctelor de lucru în sistemul sursă-arc, la diferite valori ale lungimii arcului electric de sudare.

**Reglarea parametrilor** curentului de sudare se poate obține pe două căi (Fig. 2.2.3.):  
**a.** prin schimbarea tensiunii de mers în gol a sursei de curent;  
**b.** prin modificarea impedanței circuitului de alimentare a arcului electric.

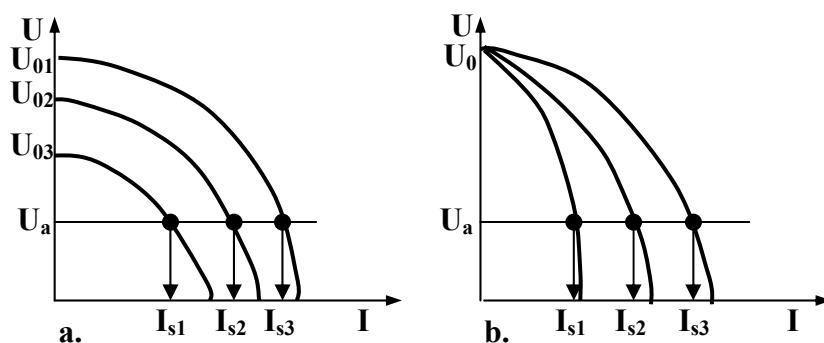


Fig. 2.2.3. Reglarea intensității curentului de sudare.

**2.2.2. Construcția surselor de curent pentru sudare**

Pentru alimentarea arcului electric de sudare sunt utilizate următoarele surse de curent:

- grupuri electrogene
- convertizoare de sudură;
- redresoare de sudură;
- învertoare de sudură;
- transformatoare de sudură.

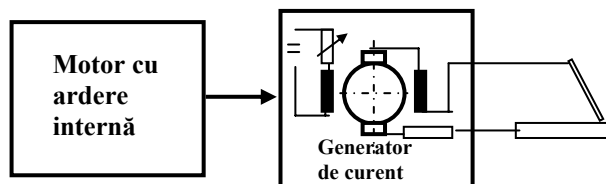


Fig. 2.2.4. Schema bloc al unui grup electrogen

**a. Grupul electrogen** se compune dintr-un motor cu ardere internă cu benzină sau motorină și un dinam, generator de curent continuu sau alternativ, de construcție adecvată proceselor de sudare cu arc electric și electrod învelit (Fig. 2.2.4.). Aceste grupuri se folosesc numai pe șantier sau în locurile unde nu este rețea de alimentare electrică.

**b. Convertizorul de sudare** are o construcție asemănătoare cu grupurile electrogene, numai că în loc de motor cu ardere internă pentru antrenarea dinamului se folosește un motor electric trifazat cu pornire stea-triunghi (Fig. 2.2.5.).

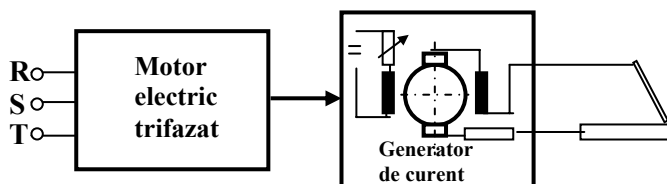


Fig. 2.2.5. Schema bloc al unui convertizor.

În ultimul timp convertizoare nu mai sunt utilizate în practică din cauza greutatei proprii mari, consumului mare de cupru pentru înfășurările statorului și a rotorului, randament scăzut, pierderi mari de energie la mers în gol, uzură și zgomot mare în funcționare.

**c. Redresorul de sudură** se compune dintr-un transformator trifazic de construcție robustă și un grup de 6 diode redresoare de Si (Fig. 2.2.6.). Pentru reglarea parametrilor curentului de sudare se folosește o comandă electronică care acționează asupra celor trei tiristoare redresoare. În circuitul negativ este inseriat un drosel pentru uniformizarea curentului redresat.

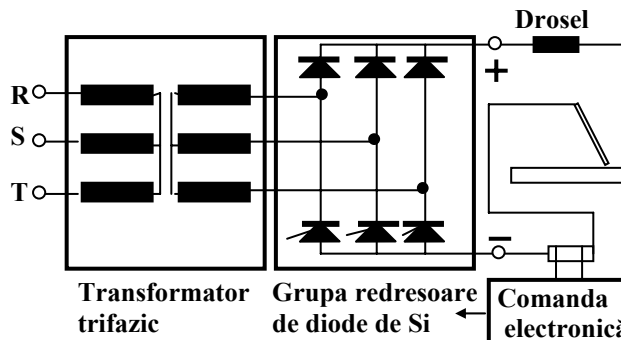


Fig. 2.2.6. Schema unui redresor de sudură.

**d. Invertorul** este cea mai modernă sursă de curent pentru sudare, având un consum redus de materiale, randament ridicat, o mare stabilitate și reglarea parametrilor curentului de sudare prin calculator etc. (Fig. 2.2.7.).

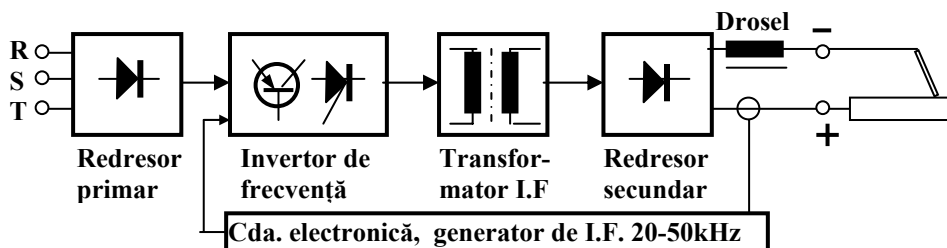


Fig. 2.2.7. Schema de principiu al unui invertor de sudură.

Curentul trifazat preluat de la rețea este redresat și alimentat într-un schimbător de frecvență cu tranzistoare de putere, comandat de un sistem electronic cu circuit integrat, care supraveghează menținerea parametrilor curentului de sudare și permite reglarea acestora pe bază de comandă program. Curentul de frecvență ridicată de 20-50 kHz este transformat cu ajutorul unui transformator cu miez de ferită, redresat și apoi filtrat, pentru alimentarea arcului electric de sudare.

- e. **Transformatorul de sudură** are o construcție relativ simplă și robustă, fiind format din transformatorul propriuzis, un drosel de defazaj și dispozitivul de reglare a parametrilor curentului de sudare (Fig. 2.2.8.). Reglarea curentului de sudare poate fi realizată prin diferite metode:
- prin schimbarea numărului de spire din înfășurarea primară;
  - prin modificarea intrefierului șuntului magnetic cu ajutorul unui miez de fier mobil;
  - cu ajutorul unei bobine de reacție tip drosel legat în serie cu înfășurarea secundară;
  - cu ajutorul unui transductor alimentat cu un curent continuu redresat.

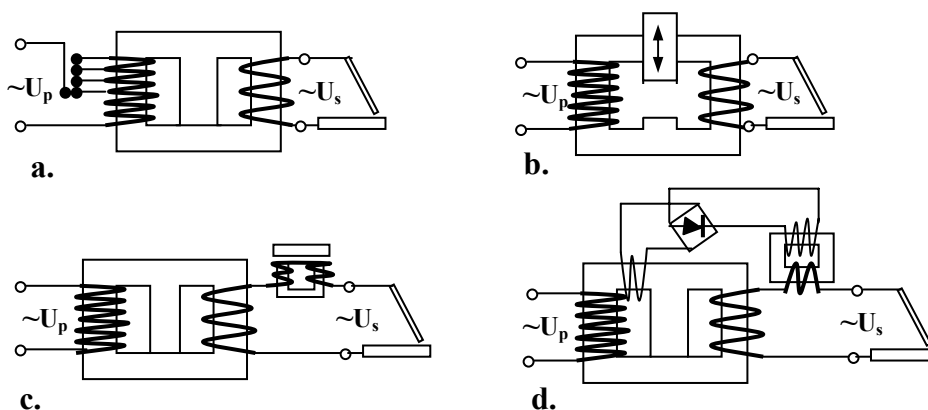
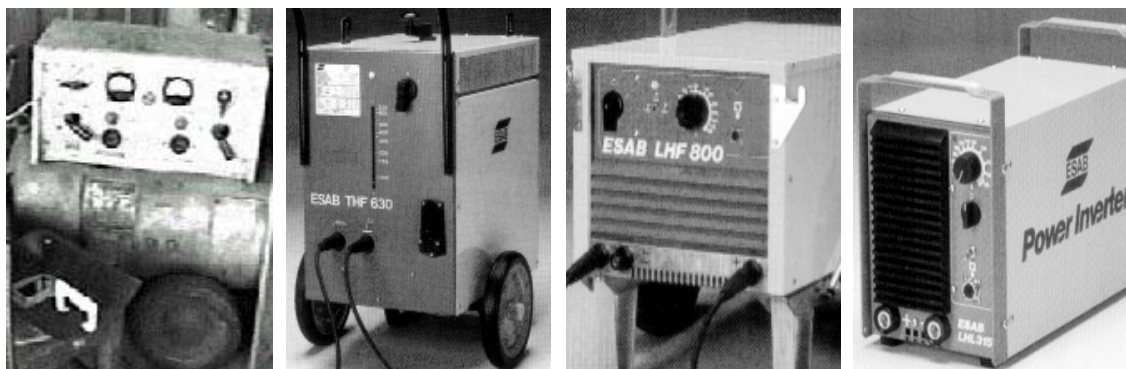


Fig. 2.2.8. Schema unor transformatoare de sudură (a. cu prize în înfășurarea primară; b. cu miez mobil; c. cu bobină de reacție; d. cu transductor).



a.

b.

c.

d.

Fig. 2.2.9. Aspectul unor surse de curent pentru sudare cu arc electric (a. convertizor, b. transformator, c. redresor, d. invertor).

Vederea generală a unor surse de curent pentru sudare cu arc electric de putere apropiată sunt prezentate în figura 2.2.9. Astfel se poate observa că numai invertorul are dimensiunile de gabarit mai mici față de celalalte surse. La toate tipurile de surse parametrii de sudare (în special intensitatea curentului) pot fi reglați relativ ușor, numai în cazul invertoarelor regimul de sudare (intensitatea și tensiunea curentului) poate fi programat, iar valorile se mențin constante independent de tensiunea de alimentare de la rețea ( $\pm 20\%$ ), sau poate varia în funcție de program.

În tabelul 2.2.1. se face o comparație dintre principalele caracteristici ale surselor de curent. Din aceste date rezultă că cei mai avantajoși sunt transformatorii de sudură, care au o construcție simplă, ieftină și robustă și invertoarii de sudură au un consum mai redus de energie și pot fi conectați în sisteme computerizate, robotizate, automatizate.

**Tabelul 2.2.1.** Comparație dintre caracteristicile celor mai utilizate surse de curent de sudare

Caracterisrica	Generator rotativ	Transformator	Redresor	Invertor
Prețul sursei	mare	redus	mare	mediu
Costul întreținerii	mare	redus	mediu	redus
Durată de viață	medie	mare	medie	mare
Sensibilitate la suprasarcină	redusă	redusă	mare	medie
Tipuri de electrozi	toate	bazice nu	toate	toate
Devierea arcului	mare	redusă	medie	redusă
Poluare sonică	mare	redusă	medie	redusă
Randamentul (%)	0,4-0,7	0,7-0,9	0,6-0,8	0,8-0,9
Factorul de putere	0,7-0,9	0,3-0,6	0,6-0,8	0,8-0,9
Consum de energie mers în gol (kW)	1,5-5	0,4-1	0,3-0,8	0,1-0,4
Greutatea (kg)	400-600	200-300	80-200	30-90

## PARTEA II BAZELE FIZICO-METALURGICE ALE SUDĂRII METALELOR

### 2.1. SURSELE DE CĂLDURĂ PENTRU SUDARE.

#### 2.1.1. Arcul electric de sudare.

**Arcul electric** este o descărcare electrică, printr-o coloană de gaz ionizat și incandescent, a unui flux de electroni liberi, care se deplasează de la electrodul cu polaritate negativă (catod) spre cel cu polaritate pozitivă (anod), sub influența câmpului electrostatic format între electrozii legați la bornele unei surse de curent (Fig.2.1.1.).

**Termoemisia** de electroni este fenomenul fizic care determină plecarea de pe suprafața catodului incandescent a fluxului de electroni.

**Pata anodică** rezultă datorită bombardării suprafeței anodului de către fluxul de electroni, având viteză mare, pe care o încălzește la temperaturi ridicate (4000-5000 K) și în adâncime mare.

**Pata catodică** este zona incandescentă din capătul catodului, care se încălzește mai puțin (3000-4000 K), deoarece se formează în urma bombardării cu ionii de gaz formați în coloana arcului, având astfel viteză mai mică.

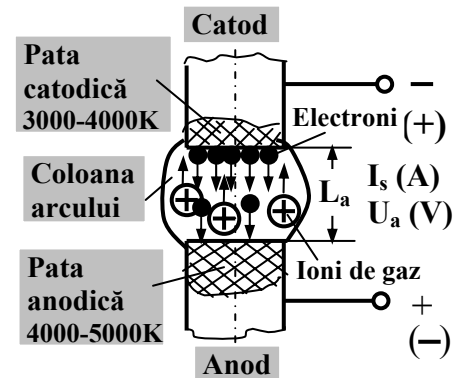


Fig.2.1.1. Elementele arcului electric.

Având în vedere acest fenomen, polaritatea pozitivă

de regulă se leagă la acel electrod care în procesul de sudare trebuie încălzit mai puternic. Ca urmare, piesa de sudat având masă mare, trebuie legată la polul pozitiv al sursei de curent de sudare, asigurând astfel o mai bună încălzire și pătrundere a cusăturii, vorbind în acest caz de **sudare cu polaritate directă**. În anumite cazuri însă, polul pozitiv este legat la electrodul de sudare, pentru a-l topi mai intens și rapid, vorbind de **sudare cu polaritate inversă** (de exemplu la sudarea cu electrod cu înveliș bazic, sau la sudarea semiautomată cu electrod fuzibil). Ca urmare, curentului electric se simbolizează în felul următor:

- la polaritate directă: c.c.,
- la polaritatea inversă: c.c.,
- în cazul arcului electric de curent alternativ: c.a..

**Amorsarea** arcului electric de sudare de obicei se realizează prin scurtcircuitare, lovind scurt cu electrodul suprafața metalului de bază. Datorită rezistenței de contact, capătul electrodului se încinge, asigurând termoemisia de electroni necesar formării arcului electric. În unele cazuri însă, când nu este permisă scurtcircuitarea (de exemplu la sudarea cu electrod de wolfram care se împurifică și se consumă mai rapid), amorsarea se realizează cu ajutorul curentului de înaltă frecvență (1-2 MHz; 5-10 kV), care străpunge spațiul și preionizează atmosfera dintre electrozi, în vederea formării arcului electric.

**Parametrii principali** ai curentului de sudare sunt următorii:

$U_a$  – tensiunea curentului arcului de sudare, în timpul stabilirii arcului electric (V);

$I_s$  - intensitatea curentului de sudare în timpul sudării (A);

$L_a$  – lungimea arcului electric de sudare, ca distanța dintre capetele electrozilor (m).

**Caracteristica arcului** reprezintă relația matematică sau grafică dintre cei trei parametri de sudare:  $U_a = f(I_s, L_a)$ . Pentru sudarea cu arc electric cu electrod învelit caracteristica arcului are următoarea formă empirică:

$$U_a = a + \frac{c \cdot L_a}{I_s} \text{ (V);} \quad (2.1.1.)$$

La sudarea oțelurilor carbon  $a = 11$ ; iar  $c = 5500$ .

In general  $I_s = 30-500$  A;  $U_a = 24-45$  V;  $L_a = 3-6$  mm.

Densitatea de energie transmisă de arcul electric de sudare este de  $10^4 - 10^5$  W/cm<sup>2</sup>.



Reprezentarea grafică a caracteristicii arcului electric de sudare este prezentată în figura 2.1.2. La sudarea manuală cu arc electric și electrod învelit, sau electrod de wolfram unde se lucrează cu densități mai mici de curent ( $10-50 \text{ A/mm}^2$ ), caracteristica este coborâtătoare. La sudarea semiautomată cu arc electric și electrod fuzibil în atmosfere protectoare, unde densitatea de curent este mare ( $100-200 \text{ A/mm}^2$ ), apare o caracteristică rigidă sau chiar urcătoare.

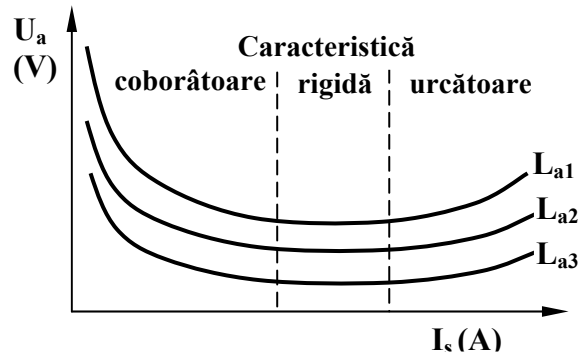


Fig.2.1.2. Caracteristica arcului electric de sudare ( $L_{a1} > L_{a2} > L_{a3}$ ).

**Efectul termic de încălzire** a arcului electric  $q_f$  (J/s) rezultă din legea lui Joule-Lenz din produsul intensității curentului de sudare și tensiunea arcului electric, unde  $\eta_f$  este randamentul încălzirii.

$$q_f = I_s \cdot U_a \cdot \eta_f; \quad (2.1.2.)$$

**Topirea electrodului** este determinată de randamentul de încălzire a electrodului ( $\eta_e$ ), ca partea de căldură livrată de arc electric către electrod. Cantitatea de căldură necesară topirii electrodului este asigurată de arc electric, conform relației:

$$q_e = V_e \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \gamma \cdot i_{top.} = I_s \cdot U_a \cdot \eta_e; \quad (2.1.3.)$$

unde:  $q_e$  – căldura necesară topirii electrodului de sudare (J/s);

$V_e$  - viteza de avans a electrodului (mm/s);

$d_e$  – diametrul sârmei metalice din electrod (mm);

$\gamma$  - greutatea specifică a metalului electrodului ( $\text{g/mm}^3$ );

$i_{top.}$  – entalpia de topire a metalului electrodului (J/g).

Se definesc următorii coeficienți de topire a electrodului de sudare cu arc electric:

**Productivitatea de topire a electrodului:**

$$g_e = V_e \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot \gamma = \frac{I_s \cdot U_a \cdot \eta_e}{i_{top.}}; \quad (\text{g/s}) \quad (2.1.4.)$$

**Coeficientul de topire a electrodului:**

$$\alpha_t = \frac{g_e}{I_s}; \quad (\text{g/As}) \quad \text{sau} \quad \alpha_t = 3600 \frac{g_e}{I_s}; \quad (\text{g/Ah}) \quad (2.1.5.)$$

**Viteza de topire a electrodului rezultă din relațiile 2.1.3. și 2.1.4.**

$$V_{te} = 10^3 \frac{4 \cdot \alpha_t \cdot I_s}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma}; \quad (\text{m/h}) \quad (2.1.6.)$$

**Trecerea metalului adaos** de la electrodul fuzibil la baia de sudură are loc sub formă de picături fine de metal topit, având temperatură ridicată ( $2000-2200^\circ\text{C}$ ). Fazele procesului sunt următoarele: **a.** topirea capătului electrodului; **b.** desprinderea topiturii prin strangularea zonei de metal din apropierea electrodului; **c.** deplasarea picăturilor de metal adaos spre metalul de bază (Fig.2.1.3.).

Strangularea se produce datorită forțelor electromagnetice, iar trecerea spre metalul de bază are loc nu numai pe baza forțelor de gravitație, dar și a forțelor de atracție electrostatice și de atracție de masă. De asemenea s-a constatat că are loc formarea explozivă de  $\text{CO}_2$  în metalul topit, care poate determina desprinderea picăturilor și proiectarea lor spre baia de sudare (**d.**, **e.**).

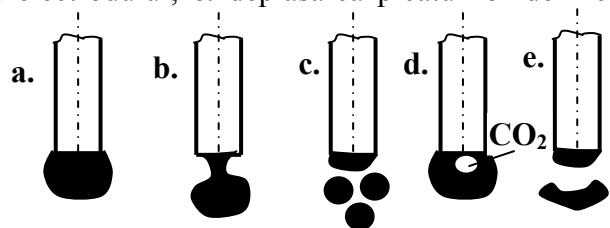


Fig.2.1.3. Trecerea picăturilor de metal adaos prin arc electric de sudare.

În figura 2.1.4. este ilustrată picătura de metal adaos topit, care trece prin arc electric de sudare spre baia de sudură. De asemenea poate fi observată topirea și fenomenul de strangulare a metalului topit de la capătului electrodului. La trecerea picăturilor de metal adaos topit, forțele gravitaționale sunt învinse de cele electrostatice și de masă, ceea ce explică posibilitatea sudării în poziția de peste cap, când metalul adaos topit trece de la electrod spre baia de sudură pe verticală, de jos în sus. Pentru o calitate superioară a cusăturii sudate, metalul adaos topit trebuie să fie pulverizat sub formă de picături cât mai fine.

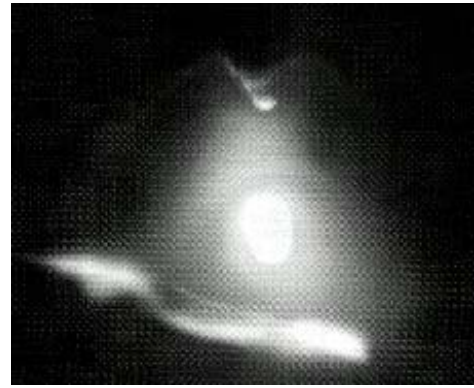


Fig.2.1.4. Arcul electric de sudare cu picătura de metal adaos topit.

**Devierea arcului de sudare** este un fenomen nedorit, deoarece reduce pătrunderea în metalul de bază a procesului de sudare. Devierea apare în urma acțiunii câmpului electromagnetic format atât în electrod cât și în piesa de sudat la trecerea curentului electric de sudare, asupra arcului electric care se comportă ca un conductor flexibil și se abate de la prelungirea axei sârmei electrod, încălzind metalul de bază alături de zona de sudare, picăturile de metal adaos topit depunându-se astfel pe suprafețele reci ale pieselor de îmbinat. Fenomenul apare mai pronunțat la capetele îmbinărilor sudate, precum și la sudarea muchiilor rosturilor teșite. Dacă metalul de bază este feromagnetic (Fe, Ni, Co), arc deviază spre interiorul piesei, iar la sudarea metalelor paramagnetice (Al, Cu) devierea se produce în afara piesei (Fig.2.1.5.). Pentru reducerea efectului negativ al devierii arcului electric de sudare se recomandă aplicarea următoarelor măsuri:

- sudarea cu arc cât mai scurt ( $L_a < 5\text{mm}$ );
- utilizarea electrozilor cu înveliș gros;
- înclinarea electrodului în sens opus devierii;
- sudarea cu curent alternativ (400 Hz);
- aplicarea de contacte mobile la piesă etc.

**Arcul electric de curent alternativ** arde intermitent, deoarece tensiunea sursei ( $U_{\text{sursa}}$ ), variază sinusoidal, iar când scade sub tensiunea de ionizare ( $U_i$ ) a atmosferei dintre electrozi, arc se stinge și curenții de sudare ( $I_{\text{sud}}$ ) este nul (Fig.2.1.6.a.). În timpul pauzelor baia de sudură se răcește, iar reamorsarea arcului devine foarte dificilă, ceea ce are ca efect scăderea stabilității procesului de sudare. Pentru îmbunătățirea stabilității arcului electric de sudare în curent alternativ, se face un defazaj între tensiunea sursei și tensiunea arcului de sudare (Fig.2.1.6.b.). În acest caz curentul de sudare variază continuu, iar arc electric arde fără pauze. Defazajul  $\cos \varphi$  poate fi calculat cu ajutorul următoarei relații:

$$\cos \varphi = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{U_{\text{arc}}}{U_{\text{sursa}}} = 0,4 - 0,5;$$

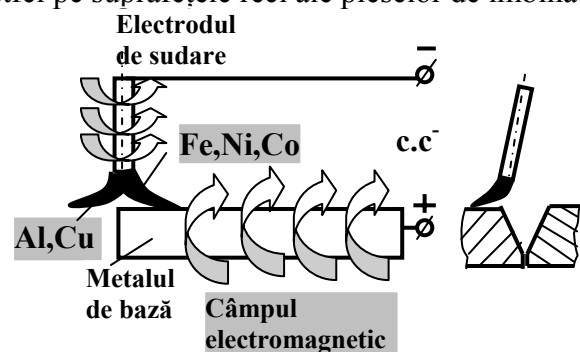


Fig.2.1.5. Devierea arcului electric de sudare.

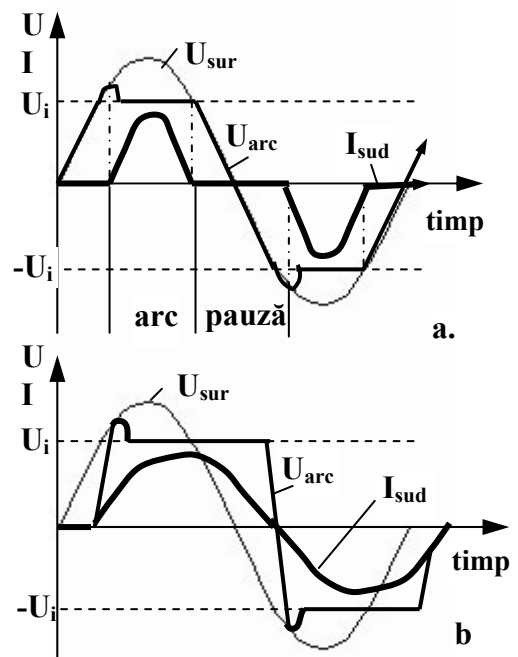


Fig.2.1.6. Variația tensiunii arcului și a curentului de sudare alternativ fără (a.) și cu defazaj de curent (b.).

**2.1.2. Plasma termică**

**Plasma termică** este o stare disociată, ionizată, incandescentă și sub presiune a gazelor. In stare de plasmă pot fi aduse toate gazele (heliu, hidrogen, azot, bioxid de carbon, aer etc.), însă cel mai frecvent este utilizată plasma de argon. In principiu, gazul plasmagen se ionizează prin trecerea lui printr-un arc electric, care în urma comprimării la trecerea printr-un ajutoraj de strangulare, se încălzește la temperatura de 10.000-30.000 K.

Plasma de sudare se realizează în **generatoare de plasmă**, formate dintr-un electrod de wolfram legat la polul negativ al sursei de curent și un ajutoraj de cupru, care servește la formarea arcului electric de ionizare și strangularea gazului plasmagen în vederea obținerii jetului de plasmă (Fig. 2.1.7.). Atât electrodul de wolfram, cât și ajutorajul de cupru sunt răcite cu apă prin circuite interioare. Gazul plasmagen (argonul) este introdus în spațiul dintre electrodul de W și partea cilindrică a ajutorajului de Cu și trece prin arc electric format între vârful conic al electrodului de W și partea conică a ajutorajului de Cu. Jetul de plasmă care iese din ajutorajul generatorului de plasma poate avea lungime diferită (5-150 mm), în funcție de parametrii de lucru. Se deosebesc trei variante ale plasmii termice de sudare:

- jet de plasmă**, când sursa de curent este legată între electrodul de W și ajutorajul de Cu;
- arc de plasmă**, când polul pozitiv al sursei este legat la piesa metalică, astfel încât prin plasma termică trece și un fluxul de electroni al curentului electric, îmbunătățind mult eficiența termică a procesului;
- plasma combinată**, dintre cele două variante.

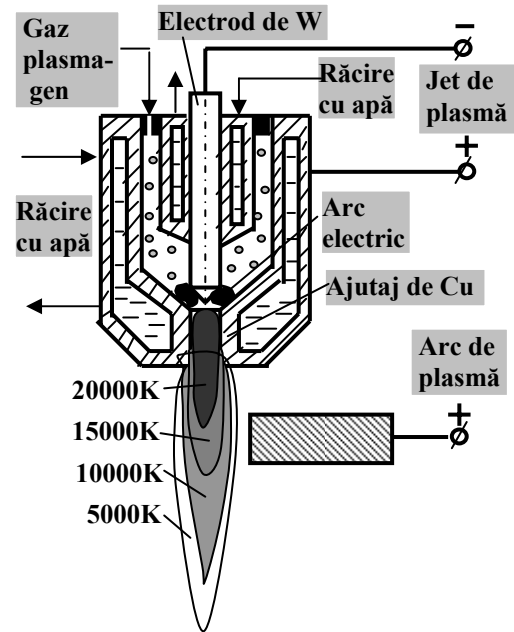


Fig.2.1.7. Schema generatorului de plasmă.

**Amorsarea** procesului de formare a plasmii se realizează cu ajutorul curenților de înaltă frecvență, de 1-5 MHz suprapuse peste curentul electric de alimentare a plasmii, astfel că între electrozii generatorului de plasmă apare o descărcare electrică prin scânteii care preionizează gazul plasmagen și pornește arc electric de formare a plasmii. Jetul de plasmă se caracterizează nu numai prin temperatură ridicată, dar și printr-o concentrare mare a energiei, care poate ajunge la  $10^5-10^6 \text{ W/cm}^2$ .

Gazele plasmagene în funcție de temperatură disociază și apoi se ionizează, absorbând o mare cantitate de căldură de la arc electric de amorsare (Fig.2.1.8.). Gazele monoatomice au tensiune de ionizare ridicată (Ar=15,8V, He=24,6V), iar gazele biatomice au tensiune de ionizare mai mici (N<sub>2</sub>=13,6V, H<sub>2</sub>=14,6V). În contact cu piesele metalice gazele ionizate se recombina, cedează căldura absorbită, contribuind substanțial la încălzirea acestora:

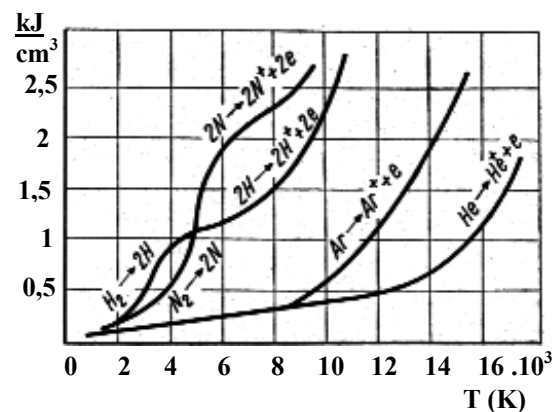
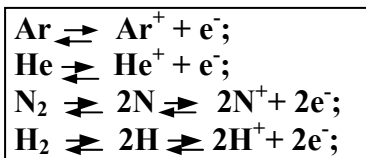


Fig.2.1.8. Variația entalpiei unor gaze plasmagene în funcție de temperatură pe parcursul disocierii și ionizării.

Efectul termic de încălzire a plasmă se determină din parametrii curentului electric de alimentare, ținând cont de randamentul de încălzire a jetului de plasmă ( $\eta_p$ ):

$$q_p = I_p \cdot U_p \cdot \eta_p; \quad (\text{J/s}) \quad (2.1.8.)$$

În funcție de intensitatea curentului electric ( $I_p$ ) efectul termic de încălzire al jetului de plasmă crește exponențial, în timp ce randamentul ( $\eta_p$ ) variază liniar (Fig.2.1.9). Tensiunea ( $U_p = 45\text{-}200\text{ V}$ ) influențează mai mult stabilitatea plasmă, iar debitul de gaz plasmagen și diametrul ajutorului generatorului de plasmă reduc randamentul și efectul termic al plasmă.

### 2.1.3. Fașcicul de electroni

Fașcicolul de electroni este un flux de electroni de mare intensitate, generat în vid prin termoemisie de electroni de către un filament de wolfram și accelerat de un câmp electrostatic de înaltă tensiune. Efectul termic de încălzire și topire se datorește frânării în metalul de sudat a fluxului de electroni de mare viteză, care poate ajunge la valoarea de 175.000 km/s, în funcție de tensiunea de accelerare, conform relației (2.1.9).

$$V_e = \sqrt{\frac{2e}{m_e} U_e}; \quad (2.1.9.)$$

Unde:  $e$  – sarcina electronului;  $m_e$  – masa electronului; iar  $U_e$  – tensiunea de accelerare a electronilor.

Dispozitivul de generare a fașcicolului de electroni se numește **tun de electroni** (Fig.2.1.10.). Un catod de W în formă de filament este încălzit cu un curent de 5-12 V și 3-10 A, în vederea asigurării termoemisiei de electroni de mare intensitate. Fașcicolul de electroni se formează datorită câmpului electrostatic al anodului sub formă cilindrică (cilindru Wehnelt) legat la polul pozitiv al unei surse de curent continuu de înaltă tensiune de  $U_e = 5\text{-}200\text{ kV}$ , intensitatea curentului fiind de  $I_e = 50\text{-}500\text{ mA}$ . Puterea electrică consumată este de 3-20 kW, iar fluxul de energie a jetului de electroni poate ajunge la  $10^8\text{ W/cm}^2$ .

În coloana tunului de electroni trebuie să fie un vid de  $10^{-4}\text{-}10^{-5}\text{ MPa}$ , pentru a nu influența negativ fașcicolul de electroni de către atomii gazelor din aer. Vidul este obținut cu ajutorul unui sistem de vidare compus dintr-o pompă rotativă de vidare preliminar ( $10^{-2}\text{ MPa}$ ) și o pompă de difuzie de vidare înalt. În coloana tunului se mai află o bobină electromagnetice de focalizare și o bobină de deflexie alimentate cu curent continuu de  $\pm 80\text{ V}$ , pentru reducerea diametrului și dirijarea către obiectul încălzirii a fașcicolului de electroni, a cărui diametru poate fi de 2-50  $\mu\text{m}$ . În camera de sudare vidul nu trebuie să fie mai mare de  $10^{-2}\text{-}10^{-3}\text{ MPa}$ .

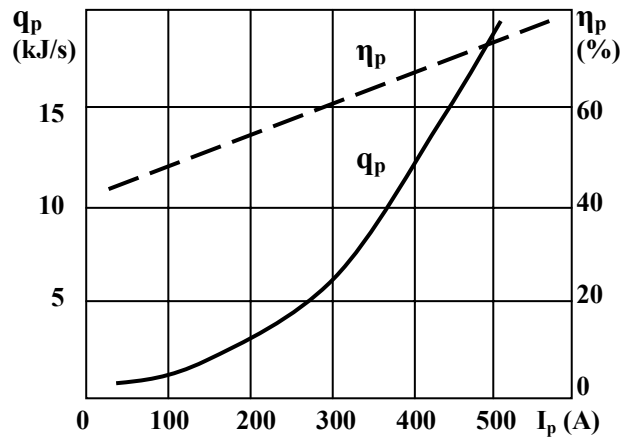


Fig.2.1.9. Variația efectului termic ( $q_p$ ) și a randamentului plasmă în funcție de intensitatea curentului electric de alimentare a plasmă ( $I_p$ ).

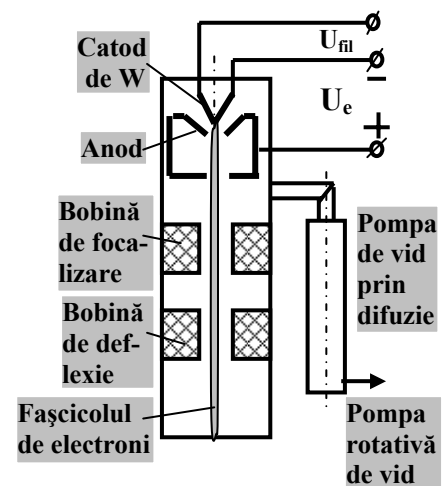


Fig.2.1.10. Schema de principiu a tunului de electroni.

### 2.1.4. Flacăra de sudare

Flacăra de sudare se formează prin arderea unui gaz combustibil în amestec cu oxigen pur. Proprietățile de ardere a unor gaze combustibile cu oxigenul sunt date în tabelul 2.1.1. Astfel rezultă că cea mai mare temperatură și densitatea maximă de energie transmisă se obține în cazul flăcării oxo-acetilenice, care este folosit în primul rând pentru sudarea prin topire a metalelor și aliajelor. Pentru tăiere, lipire și în alte scopuri se mai folosesc și alte flăcări oxo-gaz.

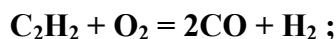
**Tab.2.1.1.** Caracteristicile termice ale unor gaze combustibile în amestec cu oxigen pur

Gazul combustibil	Formula chimică	Greutatea specifică (kg/m <sup>3</sup> )	Coef.de amestec cu O <sub>2</sub> β	Temp.de aprindere (°C)	Temp.de ardere (°C)	Puterea calorică (kJ/m <sup>3</sup> )	Limite de explozie (%)
Acetilena	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,172	1,1-1,2	300	3200	51714	2,8-93
Metan	CH <sub>4</sub>	0,85	1,8	450	2000	35564	6,5-35
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,83	4,3	490	1950	92675	3-45
Hidrogen	H <sub>2</sub>	0,09	1,5	450	2100	10795	4,5-95

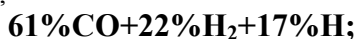
**Flacăra oxo-acetilenică** rezultă prin aprinderea amestecului de gaze la ieșirea din ajutorul arzătorului (Fig.2.1.11.). În secțiunea longitudinală flacăra prezintă trei zone distincte:

**I – zona de amestec**, unde gazele se amestecă și se preîncălesc la temperatura de aprindere;

**II – zona de ardere primară**, unde are loc arderea primară a amestecului oxo-acetilenic:



Această zonă poate fi ușor observată, având forma unui con de culoare albastră. Zona prezintă pentru procesele de sudare importanța deosebită, deoarece la vârful lui se obține temperatura maximă și gazele rezultate au o compoziție reducătoare:



**III – zona de ardere secundară**, în care se

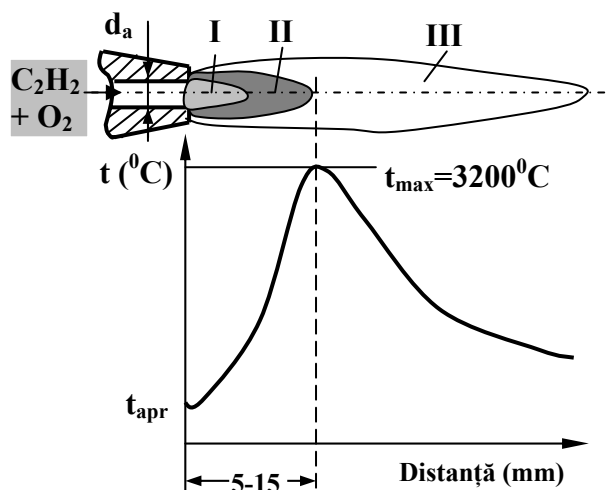
termină arderea completă a gazelor formate, aspirând în acest scop oxigenul din aerul înconjurător:  $2\text{CO} + \text{H}_2 + 1,5\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O};$

Pentru caracterizarea flăcărilor oxo-acetilenice se folosește noțiunea de **coeficient de amestec**:  $\beta = Q_o/Q_{ac}$ ; ca raportul dintre debitul de oxigen  $Q_o$  și debitul de acetilenă din amestec  $Q_{ac}$ . În funcție de valoarea coeficientului de amestec se deosebesc trei tipuri de flăcări (Fig.2.1.12.):

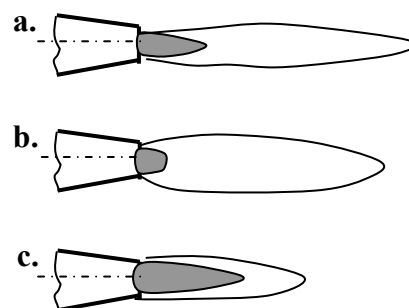
-**flacăra neutră**, cu  $\beta=1,1-1,2$ ; la care temperatura este maximă și gazele din zona II sunt reducătoare, fiind utilizată la sudarea tuturor tipurilor de oțeluri și a cuprului;

-**flacăra carburantă**, cu  $\beta=0,7-1,0$ ; cu exces de acetilenă, utilizată la sudarea fontelor, aluminiului și a plumbului;

-**flacăra oxidantă**, cu  $\beta=1,2-1,5$ ; aplicată la sudarea alamei și a bronzurilor.



**Fig.2.1.11.** Zonele flăcării oxo-acetilenice și variația temperaturii de alungul flăcării.

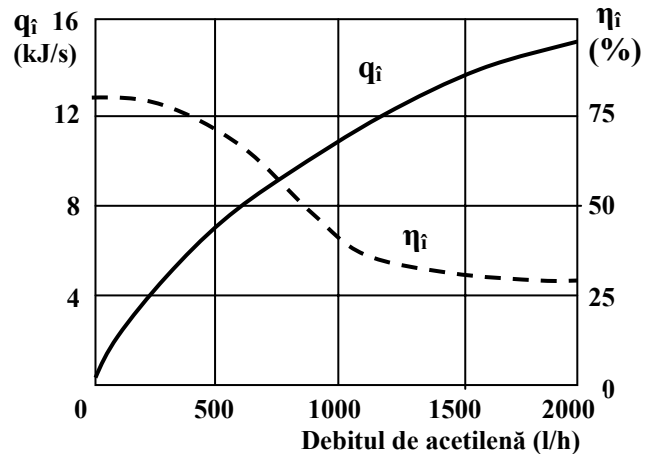


**Fig.2.1.12.** Aspectul flăcării neutre (a), carburante (b) și oxidante (c).

**Efectul de încălzire** a flăcării oxo-acetilenice poate fi calculat din puterea calorică a acetilenei, debitul de acetilenă ( $Q_a - l/h$ ) și randamentul de încălzire ( $\eta_i$ ) care scade substanțial cu mărirea flăcării (Fig.2.1.13.).

$$q_i = \frac{51714}{3600} Q_i \eta_i = 14,37 \cdot Q_i \cdot \eta_i; \text{ (J/s)}$$

Practic efectul de încălzire a flăcării nu crește liniar cu debitul de acetilenă din cauza pierderilor de căldură și a arderii incomplete a flăcării la debite mari de gaze.



**Fig.2.1.13.** Variația efectului termic de încălzire și a randamentului flăcării oxo-acetilenice.

### 2.1.5. Fașicoul de laser.

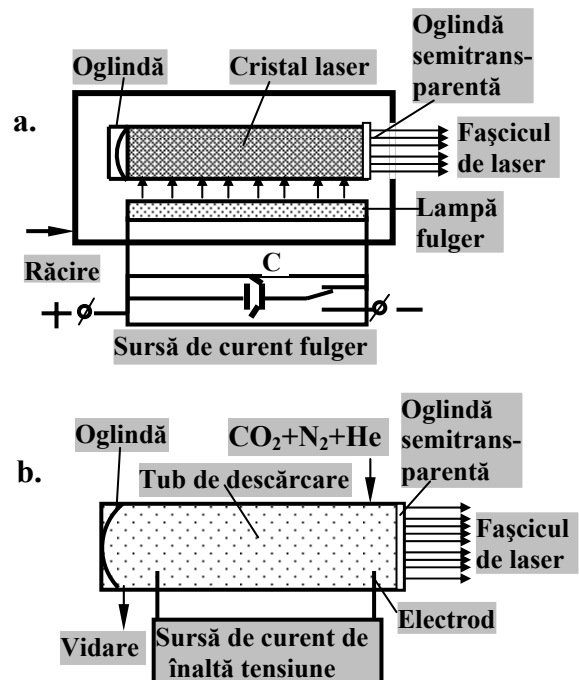
Laserul (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) este un fașiccol luminos coerent, monocromatic, de mare intensitate, care poate fi focalizat pe suprafața materialelor la diametre de 2-10  $\mu\text{m}$ , realizând o densitate foarte mare de energie, de  $10^8 - 10^9 \text{ W/cm}^2$ . Datorită absorbției fașicoulului de lumină, suprafața materialelor poate să se încălzească chiar până la **50000 K**. Producerea fașicoulului de laser are la bază emisia stimulată a atomilor de gaze sau de anumite substanțe solide, putând lucra în regim continuu sau intermitent.

În tehnica sudării metalelor cel mai frecvent sunt utilizate generatoarele de laser cu mediu solid (Fig.2.1.14.a.), sau mediu gazos (Fig.2.1.14.b.).

Laserul cu cristal solid funcționează pe bază de pompaj optic, cu ajutorul unei lămpi fulger dispus eliptic în jurul cristalului care este de **rubin** ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dopat cu ioni trivalenți de crom ( $\text{Cr}^{+3}$ ). Astfel se produce o radiație laser în regim de impulsuri, cu lungimea de undă de **0,69  $\mu\text{m}$**  și putere de **100 mW**.

Laserii cu **YAG:Nd** au deasemenea mediu activ solid, format din granat de ytriu și aluminiu dopat cu neodim, livrând radiații laser de **1,06  $\mu\text{m}$**  în regim continuu sau cu impulsuri, la puteri de **0,2-1 kW**. Răcirea cristalelor se face cu aer sau apă.

Laserii cu gaz produc radiațiile într-un tub de descărcare, de sticlă, vidat și umplut cu un amestec de  **$\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{He}$** , pe baza ciocniri elec-tronice în urma descărcării dintre doi electrozi a unui curent de înaltă tensiune. Radiațiile laser au lungimea de undă de **10,6  $\mu\text{m}$** , puterea livrată putând ajunge la **1-20 kW**, în regim continuu, sau de impulsuri de **0,5- 10 ms**.



**Fig.2.1.14.** Schemele generatoarelor de laser cu cristal solid (a.) și gaze  $\text{CO}_2$  (b.)

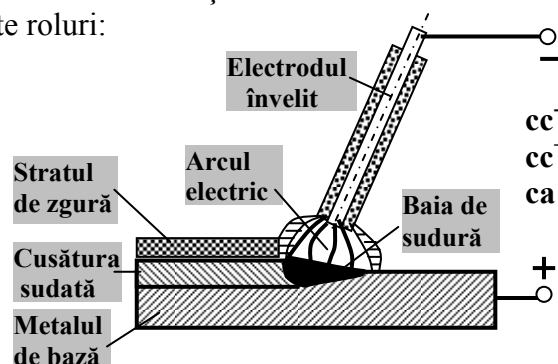
## PARTEA III SUDAREA PRIN TOPIRE A METALELOR

### 3.1. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ȘI ELECTROD ÎNVELIT.

#### 3.1.1. Principiul sudării.

Sudarea cu electrod învelit este un procedeu manual de sudare, la care arcul electric alimentat de la o sursă de curent de construcție specială se formează dintre un electrod metallic tip vergea acoperită cu un înveliș nemetalic și metalul de bază, piesa de sudat (Fig. 3.1.1.). Prin topirea vergelei metalice și a marginilor rostului metalului de bază se formează baia de sudare, care prin solidificare rezultă cusătura sudată. Invelișul electrodului de asemenea se topește în procesul de sudare, având mai multe roluri:

- metalurgic**, de reducere, rafinare și aliere a băii de sudare;
- protector**, de eliminare a aerului din zona de sudare;
- termic**, de reducere a pierderilor de căldură și a vitezei de răcire a cusăturii formate;
- electric**, de stabilizare a arcului electric;
- izolare** electrică față de mediul înconjurător.



**Fig. 3.1.1.** Schema de principiu a sudării cu arc electric și electrod învelit.

Sudarea cu electrod învelit începe cu amorsarea arcului, care se realizează prin scurt-circuitarea capătului electrodului cu suprafața metalului de bază și tragerea arcului electric, apoi se urmărește formarea băii de sudare prin mișcarea de apropiere a electrodului cu viteza de avans  $V_e$ , care corespunde vitezei de topire a acestuia. În continuare se desfășoară sudarea cusăturii prin avansul băii de sudare de alungul îmbinării cu viteza de sudare  $V_s$ , asigurând o bună topire a suprafețelor rostului de sudare. Electrodul în timpul sudării se înclină în direcția de sudare, pentru ca zgura topită să fie refulată în spatele băii de sudare, evitând astfel formarea în cusătură a unor incluziuni de zgură. Arcul electric se menține cât mai scurt (3-5 mm), pentru evitarea pătrunderii aerului în zona de sudare și evitarea fenomenului de deviere a arcului electric. În cazul sudării tablelor mai groase, cu rosturi teșite sau prelucrate în V, Y, U etc. capătul electrodului mai execută și o mișcare transversală în zig-zag pentru o mai bună topire a marginilor rostului. În toate cazurile trebuie avut grijă, ca dimensiunile băii de sudură, în special lățimea ei, să se păstreze constante pentru a obține o cusătură uniformă pe toată lungimea îmbinării sudate.

**Avanajele metodei:**

- utilajul relativ simplu și ieftin;
- materiale ușor accesibile;
- calitatea bună a cusăturii.

**Desavantajele sunt:**

- productivitatea scăzută,
- formarea de zgură care trebuie îndepărtat;
- calitatea depinde de calificarea sudorului,
- poluare mare cu fum și gaze nocive.

**Aplicații industriale:** sudarea oțelurilor carbon, slab aliate, aliate sau înalt aliate, oțeluri inoxidabile, refractare etc. cu grosimea de 1-60 mm, pentru realizarea de cusături scurte, de formă complicată, în locuri greu accesibile, în diferite poziții de sudare. Utilizând electrozi adecvați se realizează îmbinări și construcții sudate din cupru, alame, bronzuri, aluminiu, aliaje AlMn, AlMg etc. De asemenea sudarea cu electrod învelit se utilizează la sudarea pieselor de fontă, lucrări de reparații, remedieri, sudarea de încărcare, placare. Se sudează produse unicate, construcții fabricate în serie mică, sau medie, de dimensiuni mici și medii.

### 3.1.2. Utilajul sudării.

Utilajul de sudare este cel mai ieftin și relativ simplu (Fig. 3.1.2.), componentul de bază fiind sursa de curent care a fost tratată în capitolul 2.2.

Alte elemente auxiliare sunt:

- cleștele port electrod;
- cleva de contact;
- cablurile electrice;
- echipamente de protecție;
- scule și dispozitive.

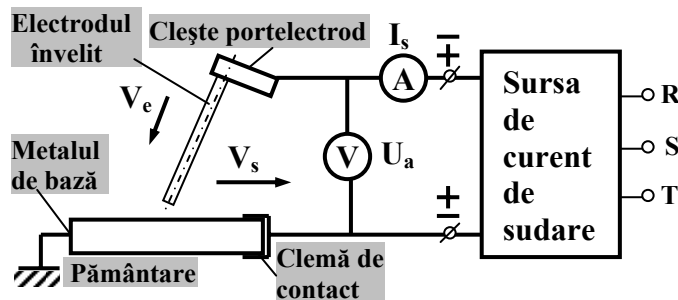


Fig. 3.1.2. Schema de principiu a utilajului sudării cu arc electric și electrod învelit.

**Cleștele port electrod** trebuie să asigure o bună prindere și fixare a electrodului de sudare, conducerea la vergeaua metalică a curentului de sudare, asigurarea unui contact bun la electrod și izolarea mânerului față de personalul de lucru. În figura 3.1.3. sunt prezentate câteva variante constructive ale cleștelor port electrod.

**Cablurile electrice** sunt flexibile, confecționate din împletituri de fire subțiri de cupru, cu diametrul de 7, 9 sau 12 mm, având secțiunea de 35, 50, 70 mm<sup>2</sup>, cu izolație rezistentă de cauciuc.

**Cleva de contact** servește la fixarea solidă a cablului de sudură pământată la piesa de sudate, strângerea fiind acționată cu arcuri sau șuruburi. Piesa de sudat totdeauna trebuie să fie legată la pământ, cu un cablu separat, pentru evitarea ori căruia pericol de electrocutare.

**Sculele** specifice de sudor sunt ciocanul de îndepărta a straturilor de zgură, perie de șarmă, polizor de mână, clește de prindere, cleme și dispozitive de poziționare, fixare a pieselor etc.

**Echipamentul de protecție** cuprinde în primul rând masca de sudură, care protejează ochii și fața sudorului de acțiunea dăunătoare a radiațiilor ultraviolete ale arcului electric, mănuși de sudor, eventual șorț de protecție, perdele și paravane de protecție, masă de sudură și sisteme de exhaustie, ventilație, aducere de aer proaspăt etc.

**Masca de protecție** poate fi de cap sau de mână, trebuie să fie rezistentă la cald, radiații și stropi de metal sau zgură și trebuie să fie prevăzută cu sticlă colorată cu cobalt pentru absorbția radiațiilor ultraviolete. Sticlele filtre de radiații UV au diferite grade de filtrare, numărând de la 1 la 10, numerele 2-4 fiind utilizate la sudarea cu electrozi cu diametrul până la 3,25 mm, 5-7 pentru electrozi mai groși de Ø4-6 mm, sau sudarea MIG/MAG, iar nr. 8-10 pentru sudarea, tăierea sau metalizarea cu plasmă. În ultimul timp se fabrică măști de sudură având sticla de protecție cu cristale lichide, care comandate pe cale electronică se întunecă în funcție de intensitatea radiațiilor date de arcul electric, iar la întreruperea arcului din nou se deschide pentru a putea vedea mai bine îmbinarea sudată. În figura 3.1.4. este reprodusă imaginea unei măști de protecție cu cristale lichide și aducție de aer proaspăt.

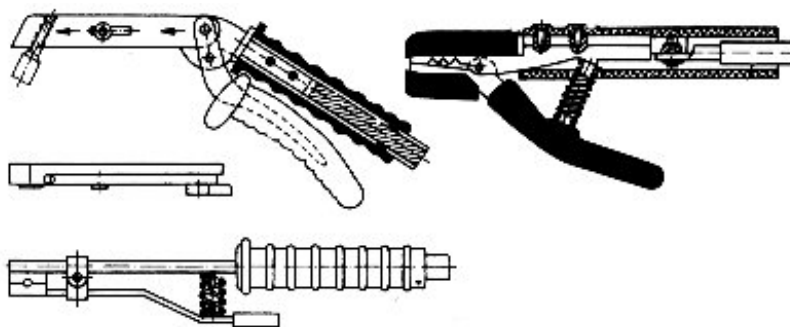


Fig. 3.1.3. Construcția unor clești port electrod.



Fig. 3.1.4. Mască de sudură cu cristale lichide.



### 3.1.3. Tehnologia sudării cu electrod învelit

Sudarea cu electrod învelit este un procedeu care se învață și se realizează cel mai ușor, toate fazele de lucru fiind manuale, în principiu nu necesită o pregătire înaltă în partea personalului de execuție. Sudarea se realizează prin următoarele faze de lucru: alegerea calității electrodului, determinarea parametrilor de sudare, pregătire, preasamblarea, fixarea elementelor constructive, amorsarea arcului, realizarea cusăturii asigurând poziția și mișcările adecvate ale electrodului, îndepărtarea zgurii, verificarea calității îmbinării realizate.

**Calitatea și diametrul electrodului învelit** se alege în funcție de calitatea și grosimea metalului de bază, proprietățile mecanice și de exploatare necesare ale îmbinărilor sudate, poziția și condițiile de sudare, prețul de cost etc.

**Parametrii curentului de sudare** se reglează pe baza indicațiilor prezentate de către producătorul electrodului pe ambalajul de livrare, dar există mai multe relații empirice pentru determinarea intensității curentului de sudare  $I_s$  (A) și a tensiunii de curent al arcului electric  $U_a$  (V), funcție de diametrul vergelei metalice de sârmă a electrodului  $d_s$  (mm):

$$I_s = (20 + 6 \cdot d_s) \cdot d_s; \text{ sau}$$

$$I_s = 40 \cdot d_s; \text{ pentru sudarea oțelurilor carbon și}$$

$$I_s = 30 \cdot d_s; \text{ pentru sudarea oțelurilor aliate.}$$

Tensiunea arcului  $U_a = 20 + 0,04 \cdot I_s$ ;

Alte caracteristici ale sudării cu electrod învelit:

- productivitatea de topire: 2-7,5 kg/h;
- coeficientul de topire: 7-15 g/Ah;
- coeficientul de depunere: 5-12 g/Ah;
- pierdere de metal adaos: 5-20 %;
- viteza de sudare: 5-20 m/h;

Viteza de sudare se adoptă experimental în funcție de grosimea metalului de bază, dimensiunile transversale ale rândului de sudare, calitatea electrodului, poziția de sudare atc.

**Poziția electrodului** se definește în raport cu suprafața metalului de bază și este caracterizată prin lungimea  $l_a$  (mm) a arcului electric, distanța dintre capătul electrodului și suprafața rostului, și unghiul  $\delta$  format de axa vergelei metalice și suprafața metalului de bază (Fig. 3.1.5.). Arcul electric trebuie menținut cât mai scurt pentru a evita pătrunderea aerului și a reduce efectul devierii magnetice. Arcul electric de regulă se menține la o lungime de  $l_a = 2-5$  mm în funcție de grosimea electrodului. Inclinația electrodului se face în direcția sudării pentru ca zgura să fie refulată în spre spatele băii de sudură. Valoarea lui depinde de grosimea metalului de bază, tablele subțiri se sudează cu unghi mai mic pentru a nu străpunge metalul de bază, iar tablele groase sunt sudate cu unghiuri mai mari pentru a favoriza pătrunderea arcului electric. În toate cazurile trebuie avut în vedere faptul că se va obține efectul maxim de încălzire în direcția de prelungire a axului electrodului, motiv pentru care electrodul este înclinat și lateral față de poziția verticală, în special la sudarea rosturilor prelucrate, a îmbinărilor sudate în colț, prin suprapunerea, sau în cornișă.

**Mișcările electrodului** de asemenea sunt complexe, fiind necesare trei tipuri de mișcare:

- mișcare de apropiere a electrodului cu viteza  $V_e$ , pentru compensarea topirii capătului vergelei metalice;
- mișcare în direcția îmbinării sudate cu viteza  $V_s$ , pentru formarea cusăturii, având în vedere menținerea băii de sudură la aceeași dimensiuni pe toată lungimea îmbinării;

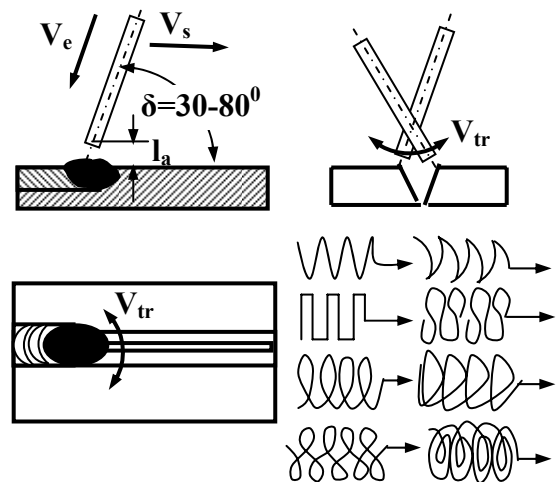
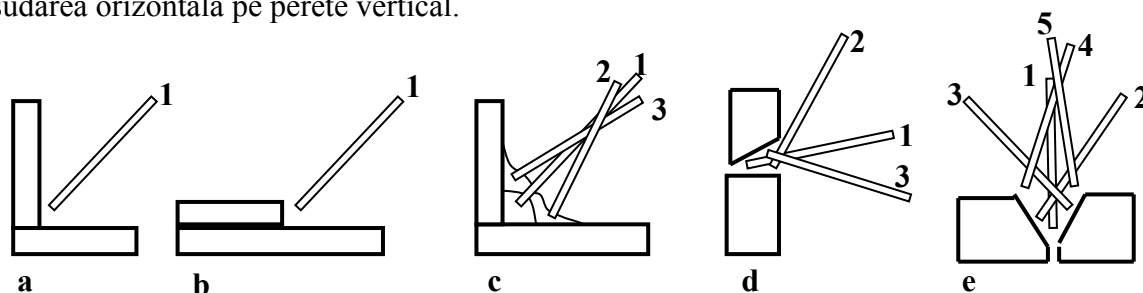


Fig. 3.1.5. Poziția și mișcările electrodului învelit în timpul realizării cusăturilor sudate.

- mișcarea transversală  $V_{tr}$  a capătului electrodului pentru formarea băii de sudură și topirea mai pătrunsă a suprafețelor rosturilor de sudare. La table subțiri cu grosimea  $s < 5 \text{ mm}$  nu se impune mișcare transversală, dar cu cât grosimea materialului este mai mare, mișcarea trebuie să fie mai complexă, în zig-zag, cu arcuiri, cu forme dreptunghiulare, cu bucle, în cercuri, în triunghi, cu cercuri duble etc.

În figura 3.1.6. sunt prezentate câteva cazuri de sudare a diferitelor tipuri îmbinări, cu specificarea poziției electrozilor. La sudarea îmbinărilor în colț interior, sau prin suprapunere, electrodul în principiu este ținut la  $45^\circ$  față de orizontală, însă dacă cusătura este formată din mai multe rânduri de sudură, orientarea electrodului se modifică în funcție de poziția cusăturii. Aceeași idee se respectă și la sudarea cap la cap din mai multe treceri, sau la sudarea orizontală pe perete vertical.



**Fig. 3.1.6.** Poziția electrodului la sudarea dintr-o trecere a îmbinărilor sudare în colț interior (a), prin suprapunere (b), în colț interior din trei treceri (c), în cornișă din trei treceri (d) și cap la cap din cinci treceri (e).

Amorsarea arcului electric se face printr-o scurtcircuitare momentanee a capătului electrodului cu suprafața metalului de bază, urmată de tragerea arcului, formarea băii de sudare și realizarea cusăturii. Reamorsarea arcului de sudare după schimbarea electrodului se face pe suprafața nesudată a metalului de bază și nu pe cusătura deja realizată, mutând apoi arcul la locul de continuare a sudării.

La terminarea cusăturii la capătul îmbinării o perioadă se menține arcul electric, pentru completarea băii de sudură în vederea umplerii craterului final.

Unele date orientative pentru alegerea parametrilor curentului de sudare a tablelor de oțeluri carbon și slab aliate de diferite grosimi sunt prezentate în tabelul 1.

**Tabelul 1.** Date orientative privind parametrii de sudare a oțelurilor carbon și slab aliate

Grosimea metalului de bază, $s$ (mm)	Poziția de sudare	Deschiderea rostului $b$ (mm)	Tipul electrodului	Rânduri de rădăcină		Strat de acoperire	
				$d_e$ (mm)	$I_s$ (A)	$d_e$ (mm)	$I_s$ (A)
4	PA	1	AR/RA	2,5	75	-	-
5		1		3,2	140	-	-
6		1		3,2	140	4	180
8		1,5		3,2	140	4	185
10		2		3,2	140	5	240
10	PA	2	B	3,2	120	4	170
15		2		3,2	130	4	170
20		2		4	160	5	220
6	PF	2	RR/RB (B)	2,5	60	-	-
8		2,5		2,5	65	3,2	110
10		2,5		3,2	95	4	160
15		3		3,2	100	4	160
10	PF	3	B	3,2	90	3,2	105
15		3		3,2	90	4	140
20		3		3,2	90	4	140

### 3.2. SUDAREA CU ARC ELECTRIC CU ELECTROD FUZIBIL IN ATMOSFERE PROTECTOARE (Procedeu MIG/MAG)

#### 3.2.1. Principiul sudării

Sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil în atmosfere protectoare este un procedeu semiautomat de sudare, la care arcul electric arde între metalul de bază și un electrod fuzibil, sârmă de sudură, care avansează mecanizat cu viteză constantă, iar în jurul sârmei se însuflă circular un gaz protector, care poate să fie  $\text{CO}_2$ , Ar, mai rar He, sau un amestec al acestor gaze. Se deosebesc două variante, utilizând același utilaj și tehnologie:

- procedeu MAG (Metal Active Gas), la care gazul protector este  $\text{CO}_2$ ;
- procedeu MIG (Metal Inert Gas), la care protecția este de Argon.

Schema de principiu a sudării este prezentată în figura 3.2.1. Sârma de sudură cu diametrul  $d_s$  este introdusă pe un tambur sub formă de colac și este derulată și împinsă spre pistolul de sudare cu ajutorul unor role striate antrenate mecanic. Pistolul de sudare introduce sârma în zona de sudare, realizează aducerea curentului de sudare și însuflă gazul protector asupra băii de sudare. Pistolul poate fi condus manual sau mecanizat cu tractor sau robot industrial.

Arcul electric este alimentat cu un curent continuu, cu polaritate inversă  $cc^+$  pentru a asigura o mai rapidă topire a sârmei electrod fuzibil.

Atmosfera protectoare poate fi  $\text{CO}_2$ , care este mai ieftin, dar influențează activ baia de sudare, deoarece disociază în arcul electric,  $\text{CO}_2 = \text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ , unde monoxidul de carbon are un efect reducător, însă oxigenul oxidează. Din această cauză este necesară utilizarea unor sârme de sudură aliate cu 1-2% Mn și 0,6-1% Si. Chiar în aceste condiții sudarea în atmosferă de  $\text{CO}_2$  (MAG) se utilizează numai la sudarea oțelurilor carbon și slab aliate cu Mn și Si. Pentru calitate superioară și reducerea fenomenului de stropire se utilizează amestecuri de gaze Ar+ $\text{CO}_2$  (2-18%). La sudarea oțelurilor inoxidabile, refractare, a aluminiului și cuprului se utilizează numai Ar, sau amestec de Ar + 1-3% $\text{O}_2$ , sau Ar + 1-5% $\text{CO}_2$  (MIG).

Arcul electric la sudarea MIG/MAG are **caracteristică urcătoare** (Fig.3.2.2.), deoarece la intensități mari de curent apare un fenomen de supraconductibilitate a coloanei arcului, ceea ce reduce rezistența și scăderea de tensiune al arcului electric.

Se deosebesc trei variante de sudare:

- Sudarea cu arc scurt**, la care apar scurt-circuitări repetate ale arcului electric de 20-120 ori/s, din cauza valorilor mai mici ale tensiunii și intensității curentului de sudare;
- Sudarea cu pulverizare fină**, apare la valori mari ai tensiunii și intensității curentului, având loc un transfer prin pulverizare cu picături fine a metalului adaos, ceea ce contribuie la îmbunătățirea calității cusăturii

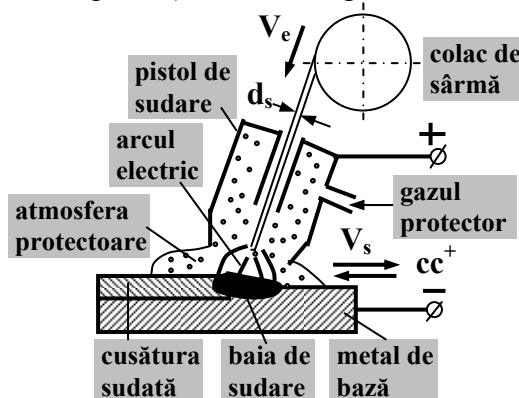


Fig. 3.2.1. Schema de principiu a sudării cu arc electric, electrod fuzibil, în atmosferă protectoare

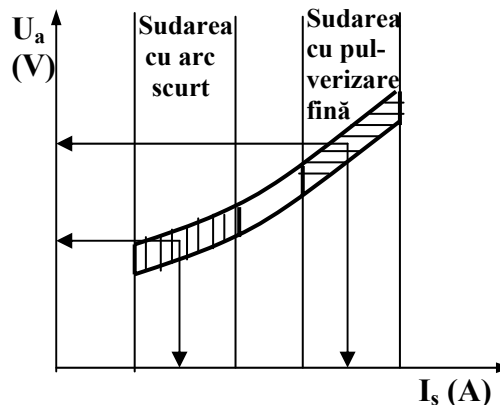


Fig.3.2.2. Caracteristica urcătoare a arcului electric la sudarea MIG/MAG a metalelor.

și la un mers mai liniștit al arcului electric.

**c. Sudarea cu arc electric pulsat**, se caracterizează prin variații periodice ale tensiunii și curentului electric de sudare, asigurând deasemenea o trecere fină a metalului adaos de la sârma de sudură la metalul de bază.

**Avantajele** sudării MIG/MAG:

- calitatea foarte bună a îmbinării sudate,  $R_m=500-600$  MPa,  $A=30\%$ ,  $KCU=150200$  J/cm<sup>2</sup>;
- productivitate mare, (de 5-10 ori mai ridicată față de sudarea cu electrod învelit), deoarece sudarea nu trebuie întreruptă pentru schimbarea electrodului, nu trebuie îndepărtat stratul de zgură, iar randamentul de depunere este mai mare;
- productivitate mare de topire de 1-10 kg/h și coeficient de topire  $\alpha=10-25$  g/Ah;
- pătrundere reglabilă în limite largi, mică la sudării tablelor subțiri, mare la cele groase;
- aport scăzut de căldură la metalul de bază, producând tensiuni și deformații mici;
- procedeu semimecanizat, care poate fi ușor automatizat, robotizat;
- se pot suda oțeluri aliate, metale și aliaje neferoase la un nivel calitativ superior;
- nu poluează mediul înconjurător, deoarece nu se formează zgură, gaze nocive, fum, sau praf.

**Desavantajele** sunt mai puține:

- utilajul și materialele mai scumpe;
- accesibilitate limitată la îmbinările sudate interioare, în locuri strâmte sau greu accesibile.

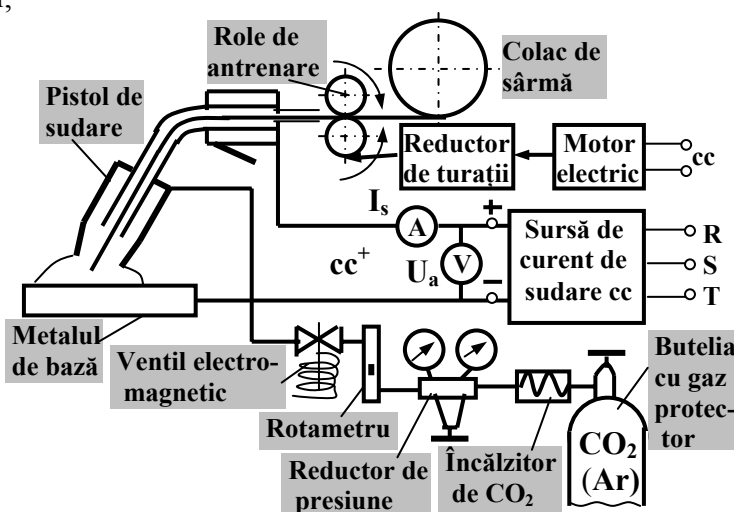
**Aplicațiile industriale** sunt din ce în ce mai multe, atât pentru sudarea oțelurilor carbon cu  $C<0,5\%$ , a oțelurilor slab aliate, înalt aliate, inoxidabile, refractare, cât și la metalele și aliajele neferoase pe bază de Al, Cu, Ni, Ti, cu grosimea de 0,5-60 mm. Se fac cusături scurte, sau de lungime medie, de forme liniare, circulare, sau complexe, la construcții sudate mediu sau puternic solicitate static, dinamic, la oboseală, exploatate la temperaturi ambiante, ridicate, peste 100°C sau sub 0°C. În industria modernă de construcția de mașini și utilaje, construcții sudate etc. sudarea MIG/MAG înlocuiește în mare măsură sudarea cu electrod învelit, reprezentând cca. 80% din totalul procedeele de sudare prin topire aplicate.

### 3.2.2. Utilajul sudării MIG/MAG

Utilajul de sudare cu arc electric, cu electrod fuzibil, în atmosfere protectoare este mai complex în comparație cu cel de la sudarea cu electrod învelit, deoarece trebuie să fie asigurat avansul semiautomat a sârmei de sudură și insuflarea gazului protector în zona de sudare. Ca urmare instalația se compune din patru unități distincte:

- a. –sursa de curent;
- b. –dispozitivul de avans al sârmei;
- c. –pistolul de sudare;
- d. –sistemul de alimentare cu gaz protector.

**a. Sursa de curent** trebuie să livreze un curent continuu cu polaritate inversă, la o tensiune reglabilă între  $U_a=15-45$  V și la intensitate de  $I_s=50-500$  A. Caracteristică externă a sursei trebuie să fie rigidă, pentru auto-reglarea lungimii arcului electric de sudare (Fig.3.2.4). Tensiunea curentului arcului electric este menținută constantă la valoarea  $U_a$ , iar la lungimea optimă  $L_0$  a arcului rezultă un curent de sudare  $I_{s0}$ . În cazul scăderii lungimii arcului la  $L_1$



**Fig. 3.2.3.** Schema de principiu a instalației de sudare MIG/MAG

de exemplu, apare pericolul de scurtcircuitare, însă acest lucru este evitat prin creșterea intensității cunetului electric la valoarea  $I_{s1}$ , prin care crește efectul termic al arcului  $q_{i1} = U_a \cdot I_{s1}$ , ca urmare crește viteza de topire a sârmei electrod care avansează cu viteză constantă, astfel că se restabilește automat lungimea nominală a arcului de sudare. Dacă crește lungimea arcului la  $L_2$ , apare pericolul întreruperii acestuia, însă intensitatea curentului electric scade la  $I_{s2}$ , scade efectul termic de încălzire la  $q_{i2} = U_a \cdot I_{s2}$ , scade viteza de topire a sârmei și lungimea arcului revine la cea optimă.

Astăzi pentru alimentarea arcului electric de la procedeele de sudare MIG/MAG se folosesc redresoare sau invertoare de construcție adecvată, dar pot fi utilizate și grupuri generatoare sau convertizoare care pot asigura caracteristica externă rigidă a cunetului de sudare.

**b. Dispozitivul de avans al sârmei** de regulă se compune dintr-un motor electric cu turație variabilă, alimentat cu curent continuu reglabil, reductor de turație și mecanism de împingere cu două sau patru role striate. Aspectul unui mecanism de antrenare cu patru role este prezentat în figura 3.2.5. Dispozitivele de avans trebuie să asigure reglarea continuă și programabilă a vitezei de avans al sârmei electrod între limitele de  $V_e = 2-16$  m/min.

**c. Pistoletul de sudare** servește la introducerea în zona de sudare a sârmei electrod fuzibil, realizarea contactului electric cu sursa de curent și însuflarea în jurul sârmei a gazului protector. Pistoalele pot fi de tip lebădă sau tip pistol, în toate cazurile fiind prevăzute cu duze de contact de cupru schimbabile în funcție de diametrul sârmei și duze ceramice pentru însuflarea gazului protector. Pistoalele care funcționează cu curent de sudare de peste 250 A sunt prevăzute cu circuit intern de răcire cu apă. Toate pistoalele au o clapetă de contact cu care sudorul pronește procesul de sudare (se cuplează sursa de curent, se pornește avansul sârmei și se deschide fluxul de gaz protector (Fig. 3.2.6.).

**d. Sistemul de gaz protector** se compune din butelia de oțel umplută cu gazul protector, reductor de presiune a gazului de la presiunea din butelie la cea de lucru de  $p_g = 0,5-3$  bar, rotamtru pentru măsurarea debitului de gaz de  $Q_g = 5-25$  l/min. și un ventil electromagnetic care se deschide numai pentru perioada efectivă de sudare. În schema din figura 3.2.3. mai apare un încălzitor de gaz cu rezistență electrică alimentată la o tensiune de 24-36 V, care este util numai dacă se sudează MAG, în vederea preîncălzirii gazului  $CO_2$ , ca la destindere în reductorul de presiune să nu se formeze zăpadă carbonică care să înfunde duzele acestuia.

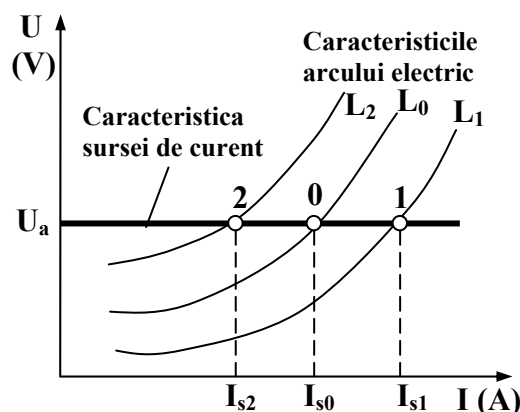


Fig.3.2.4. Diagrama de autoreglare a lungimii arcului electric de sudare

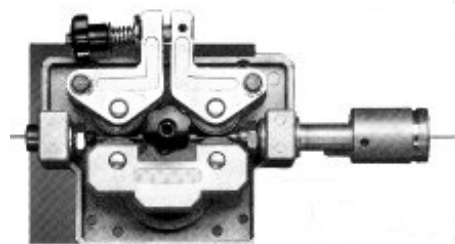


Fig. 3.2.5. Mecanism de avans cu patru role a sârmei electrod fuzibil



Fig. 3.2.6. Pistoale de sudare tip lebădă pentru sudarea MIG/MAG

Fotografia unei instalații de sudare MIG/MAG este prezentată în figura 3.2.7. Se poate distinge în partea inferioară sursa de curent de tip inverter, prevăzută cu doi roți pentru o mai ușoară deplasare, dispozitivul de avans al sârmei electrod fuzibil fixat deasupra sursei de curent și pistolul de sudare cu cablul de alimentare.

### 3.2.3. Materialele sudării MIG/MAG

**Sârmele de sudură** pentru sudarea MIG/MAG sunt trefilate din oțeluri elaborate îngrijit, fiind calmate superior, având un conținut redus de carbon ( $C < 0,12\%$ ) și de impurități ( $S, P < 0,03\%$ ). De regulă sârmele sunt cuprate la suprafață pentru reducere rezistenței de trecere a curentului de sudare în duza de contact al pistolului și pentru o mai bună protecție împotriva coroziunii. Alierea cu 0,9-2,2%Mn și 0,4-1,2%Si a sârmei asigură dezoxidarea băii de sudură, nu numai la sudarea MAG a oțelurilor carbon, dar și la sudarea MIG a oțelurilor aliate în amestecuri de gaze protectoare.

normalizate ale sârmelelor pentru procedeele de sudare MIG/MAG sunt prezentate în tabelul 3.2.1. Dintre acestea cel mai mult sunt folosite sârmele cu diametre de 0,8; 1,0 și 1,2 mm.



**Fig. 3.2.7.** Aspectul unei instalații de sudare MIG/MAG

**Tabelul 3.2.1.** Diametrul și rezistența minimă de rupere a sârmelelor de sudură MIG/MAG

Diametrul sârmei $d_e$ (mm)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
Rezistența minimă $R_m$ (MPa)	1000	900	850	800	700	650	600

Mărcile de sârme de sudură sunt standardizate în STAS 1126/87, simbolizarea cuprinzând litera S de la sudură, urmată de conținutul de carbon în sutimi de procente, simbolurile chimice ale elementelor principale de aliere urmate de conținutul lor procentuală. În tabelul 3.2.2. se indică mărcile mai importante recomandate pentru sudarea MIG/MAG a diferitelor oțeluri carbon și aliate

**Tabelul 3.2.2.** Mărci de sârme pentru sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor

Marca sârmei	Utilizare
S12Mn2Si S07Mn1,4Si	Sudar MAG MAG MAG MAG ea oțelurilor carbon de construcții (OL37, OL42, OL44, OL52), precum și a oțelurilor cu granulație fină (OCS44, OCS52, OCS55, OCS58)
S12Mn1SiNi1Ti	Sudarea oțelurilor cu granulație fină, a oțelurilor pentru construcții navale cu limită de curgere ridicată
S12SiMoCr1	Sudarea oțelurilor pentru cazane și recipiente sub presiune, exploatate $< 450^{\circ}\text{C}$
S10Mn1SiMo S10Mn1SiVMoCr1 S10MnSiMo1Cr2,5	Sudarea oțelurilor termorezistente
S10Mn1SiNiCu	Sudarea oțelurilor rezistente la coroziune atmosferică
S10Cr19Ni9 S03Cr19Ni12MoNb S12Mo1Cr17 S20Mn1Cr12Mo1V	Sudarea oțelurilor inoxidabile, solicitate mecanic, exploatate până la temperatura de $450-600^{\circ}\text{C}$
S12Cr26Ni2 S14Cr25Ni20	Sudarea oțelurilor înalt aliate rezistente la coroziune, la cald, refractare și sudarea îmbinărilor eterogene

**Gazele de protecție** utilizate la sudarea MIG/MAG sunt livrate la presiune ridicată în butelii de oțel fabricate în acest scop. Se folosesc gaze pure ca CO<sub>2</sub>, Ar, He, sau amestecuri de gaze realizate pe baza acestora. Gazele trebuie să asigure o bună protecție împotriva aerului, să fie insensibile la acțiuni externe, să reducă fenomenul de stropire, să asigure amorsarea ușoară și stabilitatea mare a arcului electric de sudare, să nu fie exploziv, să nu producă zgură, să asigure un bun transfer de căldură, să aibă capacitate calorică mică, conductivitate termică redusă, să evite arderea carbonului și a elementelor de aliere, să aibă o solubilitate redusă în baia de sudare, să nu polueze atmosfera, să aibă efect de intoxicare redus, să aibă un preț de cost redus etc.

**Bioxidul de carbon (CO<sub>2</sub>)** pentru sudare trebuie să fie de puritate mare (>99,5%), având un conținut foarte mic de umiditate (H<sub>2</sub>O<0,04%). Se obține ca și gaz natural, sau se fabrică prin arderea pietrei de var. Se depozitează și se transportă în stare lichefiată la o presiune de 60 bar, în butelii de oțel de 40 l capacitate, butelia fiind vopsită în culare verde sau neagră. Nu se poate utiliza gazul de fermentație. Este cel mai ieftin gaz protector, mai greu ca aerul, este activ din punct de vedere metalurgic, disociază în arc electric, însă fenomenul de stropire este pronunțat, pe cusătură se formează un strat subțire de zgură, pot apare pori, iar suprafața cusăturii rezultă rugoasă cu solzi. Se aplică pentru sudarea cu arc scurt a oțeluri carbon având C<0,5%.

**Argonul (Ar)** este un gaz inert, deasemenea mai greu ca aerul, care protejează bine baia de sudare, este ușor ionizabil, asigură un transport bun a căldurii, are conducibilitate termică redusă, o amorsare ușoară și arderea stabilă a arcului electric. Argonul se fabrică prin procedeul Linde, din aerul filtrat, comprimat și lichefiat, prin distilare fracționată, pe lângă oxigen și azot. Argonul captat este comprimat și depozitat pentru transport în butelii de oțel cu capacitate de 5-60 l, la o presiune de 150-200 bar. Butelia este vopsită la culoarea gri sau argintiu. Argonul trebuie să fie de mare puritate (>99,998%), fiind utilizat mai mult la sudarea MIG a metalelor și aliajelor neferoase ca Al, AlMn, AlMg, Cu, CuZn, CuSn, CuAl, Ti, TiAl, TiAlV etc. În cazul sudării oțelurilor înalt aliate Cr-Ni, inoxidabile sau refractare arcul este mai puțin stabil, baia de sudură rezultă vâscoasă.

**Amestecuri de gaze** de tip Ar-CO<sub>2</sub>; Ar-O<sub>2</sub>; Ar-He etc sunt din ce în ce mai folosite, deoarece, stropirea este redusă, viteza de sudare crește, cusătura are calitate mai bună, porozitate foarte mică, suprafața cusăturii va fi mai netedă, stabilitatea arcului va fi mai mare, se formează zgură și mai puțină. Amestecurile de argon și bioxid de carbon se depozitează ca și argonul pur, în să butelia este vopsită la culoarea roză. Cele mai folosite amestecuri de gaze sunt prezentate în tabelul 3.2.3.

**Tabelul 3.2.3.** Amestecuri de gaze utilizate la sudarea MIG/MAG a diferitelor oțeluri

Amestecul de gaz	Metalul de bază	Domeniul de utilizare
Ar+18%CO <sub>2</sub>	Oțeluri carbon și slab aliate cu Mn și Si	Cel mai utilizat pentru construcții de mașini și utilaje, construcții sudate
Ar+12%CO <sub>2</sub>	Oțeluri carbon	Construcții de autovehicule
Ar+25%CO <sub>2</sub>	Oțeluri carbon	Sudarea tablelor ruginite
Ar+40%CO <sub>2</sub>	Oțeluri carbon	Construcții navale
Ar+3-15%CO <sub>2</sub> +3-12%O <sub>2</sub>	Oțeluri carbon	Sudarea cu viteză mare a tablelor subțiri unsoase, ruginite, cu țunder
Ar+5-10%O <sub>2</sub>	Oțeluri carbon	Sudarea tablelor subțiri ruginite
Ar+1-5%CO <sub>2</sub>	Oțeluri inoxidabile	Viteză mare de sudare, porozitate redusă
Ar+1-3%O <sub>2</sub>	Oțeluri inoxidabile	Aport redus de căldură, arc stabil

## PARTEA IV PROCEDEE DE SUDARE ÎN STARE SOLIDĂ

### 4.1. SUDAREA CAP LA CAP PRIN PRESIUNE ȘI REZISTENȚĂ ELECTRICĂ

#### 4.1.1. Bazele teoretice

Sudarea prin presiune și rezistență electrică este un procedeu de îmbinare nedemontabilă în stare solidă a două piese metalice, aplicând o încălzire locală prin rezistență electrică până la o anumită temperatură, urmată de aplicarea unei forțe de refulare perpendiculară pe suprafețele de îmbinare care prin deformare plastică la cald și recristalizare realizează sudarea, fără metal adaos, dintr-o singură operație.

La sudarea cap la cap piesele au formă alungită (de bară, sârmă, șină, profile laminate, țevi, axe, arbori, tije, bolțuri, știfturi, zale de lanț etc.), care sunt fixate între bacuri de prindere de cupru legate la o sursă de curent alternativ de mare putere pentru preîncălzirea prin rezistență electrică și transmiterea forței de refulare în vederea îmbinării (Fig. 4.1.1.).

**Sudarea se desfășoară în trei faze:**

- a. preîncălzire;
- b. refulare;
- c. recristalizare.

a. **Preîncălzirea** este necesară pentru asigurarea deformabilității metalului de bază, care pentru realizarea îmbinărilor sudate trebuie să aibă valoarea de 75-90%. Valoarea temperaturii de preîncălzire depinde de compoziția chimică a metalului de bază și se află de regulă în domeniile uzuale de preîncălzire pentru prelucrarea la cald a metalelor și aliajelor, conform tabelului 4.1.1.

În cazul oțelurilor domeniul de preîncălzire pentru sudarea în stare solidă prin presiune se poate aprecia și cu ajutorul diagramei Fe-C, (Fig. 4.1.2.).

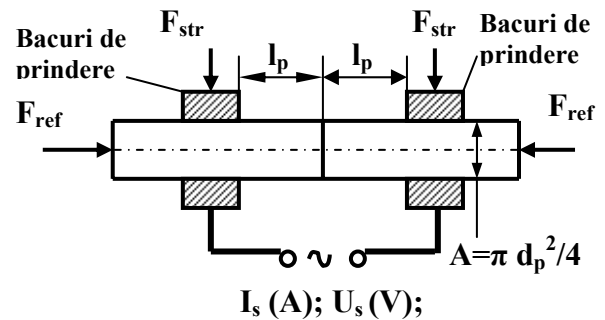


Fig. 4.1.1. Principiul sudării cap la cap prin presiune și rezistență

Tab. 4.1.1. Temperaturile de preîncălzire a diferitelor metale și aliaje în vederea sudării în stare solidă.

Denumirea metalului sau a aliajului	Temperatura de preîncălzire $t_{pi}$ ( $^{\circ}$ C)
Oțeluri carbon și slab aliate	900-1300
Oțeluri inoxidabile și refractare	950-1250
Cuprul	600-800
Alame și bronzuri	600-750
Aluminiul și aliajele AlMn, AlMg, AlSi	350-450

Căldura necesară preîncălzirii se obține prin rezistență electrică, în urma trecerii curentului electric de intensitate  $I_s$  (A) și tensiune  $U_s$  (V), prin capetele pieselor de sudat cu rezistență totală  $R$  ( $\Omega$ ), timp de  $d\tau_{pr}$  (s), conform relației [4.1.1.].

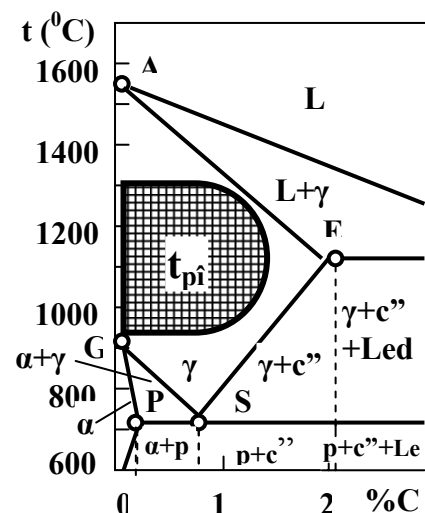


Fig. 4.1.2. Domeniul de preîncălzire a oțelurilor pentru sudarea în stare solidă.



$$Q = \int_0^{\tau} I_s^2(\tau) \cdot R(\tau) \cdot d\tau_{pr}; \quad (J) \quad [4.1.1.]$$

**Rezistența totală R** se compune de rezistența ohmică  $R_{\Omega}$  a celor două capete ale pieselor de sudat și rezistența de contact  $R_c$ , care apare la între cele două suprafețe frontale.

$$R = 2R_{\Omega} + R_c; \quad [4.1.2.]$$

**Rezistența ohmică** a pieselor poate fi calculată din rezistivitatea  $\rho$  ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) a metalului de bază, lungimea liberă  $l$  (m) și aria secțiunii transversale  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) a pieselor de sudat, conform relației [4.1.3.].

$$R_{\Omega} = \rho \cdot \frac{l}{A}; \quad (\Omega) \quad [4.1.3.]$$

Rezistența ohmică depinde de compoziția chimică a metalului de bază (de exemplu în cazul oțelurilor cu conținutul de carbon până la 1,6% rezistivitatea variază de la 0,10 la 0,15  $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ) și crește în funcție de temperatură (la oțeluri ajunge la 1,6 la 1000<sup>0</sup> C). Relația dintre rezistivitatea și temperatură rezultă din relați [4.1.4.], în funcție de rezistivitatea la 20<sup>0</sup>C ( $\rho_0$ ), coeficientul de temperatură a rezistivității  $\lambda$  ( $1/^\circ\text{C}$ ) și temperatură  $t$  ( $^\circ\text{C}$ ).

$$\rho_t = \rho_0 \cdot [1 + \lambda(t - 20)]; \quad [4.1.4.]$$

În tabelul 4.1.2. sunt prezentate valorile rezistivității electrice la temperatura normală de 20<sup>0</sup>C și a coeficientului de temperatură pentru diferite materiale metalice sudabile în stare solidă.

**Tab. 4.1.2.** Rezistivitatea electrică și coeficientul de temperatură ale unor metale și aliaje.

Metalul de bază	Fier	Oțel cu		Ni	Cu	Al 99,5%	AlMg5
		0,1%C; 0,5%Mn	0,25%C; 0,3%Si				
$\rho_0$ ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )	0,10	0,13-0,15	0,18	0,069	0,0178	0,0278	0,059
$\lambda \cdot 10^{-3}$ ( $1/^\circ\text{C}$ )	5,6	4-5	4-5	6,9	3,92	4	2,1

**Rezistența de contact** apare la trecerea curentului electric între două piese metalice conductoare de electricitate, care urmează să fie sudate în stare solidă prin presiune și rezistență electrică. Valoarea rezistenței de contact depinde de foarte mulți factori, dintre care interes mai mare prezintă calitatea metalului, starea suprafețelor de contact, rugozitatea acestora, prezența unor impurități, presiunea de presare, temperatura pieselor etc. Deși pentru sudare această rezistență este de cea mai mare importanță, aprecierea ei cantitativă este destul de greoaie din cauza multitudinii factorilor de influență. În general rezistența de contact scade de la  $20 \cdot 10^{-4}$  la  $2 \cdot 10^{-4}$   $\Omega$ , în funcție de calitatea suprafețelor de contact și presiunea de presare.

**b. Refularea** este faza de îmbinare a pieselor de sudat, prin deformare plastică la cald, asigurând prin acesta interpenetrarea atomilor marginali de pe suprafețele în contact, în urma aplicării forței de refulare  $F_{ref}$  perpendiculară pe secțiunea de sudare. De fapt prezintă importanță presiunea specifică de refulare  $p_{ref} = F_{ref} / A$  (MPa). Gradul de deformare care trebuie asigurat prin refulare pentru obținerea pătrunderii atomilor în rețele reticulare vecine

**c. Recristalizarea** are loc pe parcursul răcirii îmbinării sudate, de la temperatura de preîncălzire și sudare, la temperatura de recristalizare, formându-se o nouă structură cristalină fină și comună în zonele de material deformate plastic prin refulare până la ecruisare. Procesul de răcire de regulă are loc cu îmbinarea sudată prinsă între bacuri, sub acțiunea forței de refulare, până la atingerea temperaturii de 500<sup>0</sup>C.

**Tab. 4.1.3.** Gradul de deformare și presiunea de refulare pentru sudare în stare solidă

Calitatea metalului de bază	Gradul de deformare (%)	Presiunea de refulare (MPa)
Fierul și oțelurile	80-85	60-120
Nichelul și aliajele	75-85	110-140
Oțeluri inoxidabile	80-90	130-250
Cuprul și aliajele	75-85	140-250
Aluminiul și AlMg	50-65	80-150

#### 4.1.2. Mașina de sudat cap la cap prin presiune și rezistență electrică

În principiu mașina de sudat cap la cap prin presiune și rezistență electrică se compune din următoarele părți principale (Fig.4.1.3.):

- bacuri de prindere;
- mecanisme de strângere;
- mecanismul de refulare;
- transformator de sudură;
- dispozitivele de reglare și comandă electrică și electronică

**Bacurile de prindere** sunt confecționate din cupru sau aliaje de CuCr, CuZr etc. și sunt prevăzute cu cavități interioare în care circulă apa de răcire. Secțiunea transversală a bacurilor este potrivită secțiunii barelor care urmează să fie sudate (Fig.4.1.4.).

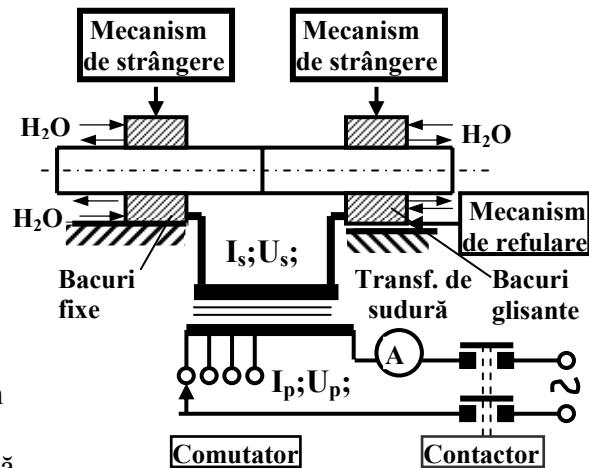
**Mecanisme de strângere** acționează asupra bacurilor de prindere cu forța de strângere de  $F_{str} = 1,5 \cdot F_{ref}$ . Aceste mecanisme pot fi acționate manual prin sisteme cu excentric, pârghii, arcuri, șurub etc. sau mecanizat prin acționare pneumatică sau hidraulică.

**Mecanismul de refulare** acționează axial asupra pieselor de sudat prin deplasarea cu forța  $F_{ref}$  a bacurilor glisante de prindere. Aceste mecanisme de asemenea pot fi manuale (cu cremalieră, șurub, pârghii și arcuri etc.), sau pneumatice, respectiv hidraulice.

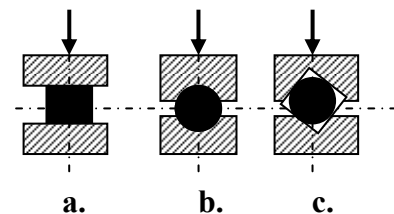
**Transformatorul de sudură** este de construcție specială, având înfășurarea primară cu mai multe ramificații pentru a putea regla intensitatea curentului de sudare, și înfășurarea secundară dintr-o singură spirală confecționată din placă de cupru cu țevi sudate pe ele în care circulă apă de răcire, care permite obținerea unor cureni de sudare cu intensitatea de  $I_s = 5-100 \text{ kA}$  la tensiunea de sudare de  $U_s = 3-12 \text{ V}$ . Prin modificarea numărului de spire din înfășurarea primară  $n_{pr}$  se poate modifica curentul de sudare, deoarece numărul de spire din secundar  $n_{sec}$  rămâne nemodificat, la tensiunea de alimentare  $U_{pr}$  a transformatorului, de 220V sau 380V de la rețeaua electrică. Ca urmare  $I_s = a \cdot I_{pr} \cdot \eta_{tr}$ , unde  $a = n_{pr}/n_{sec}$  este raportul de transformare,  $I_{pr}$ -intensitatea curentului electric primar, iar  $\eta_{tr} = 0,8-0,9$  randamentul transformatorului. La utilajele moderne de sudare prin presiune și rezistență electrică modificarea intensității curentului de sudare se realizează electronic cu sistemele tiistoacelor, a ignitroanelor.

**Dispozitivele de comandă electrică** permit reglarea electronică a timpului de sudare, precum și a tuturor regimurilor de lucru pe bază de program. Aspectul unei mașini moderne de sudare cap la cap prin presiune și rezistență electrică este prezentat în figura 4.1.5.

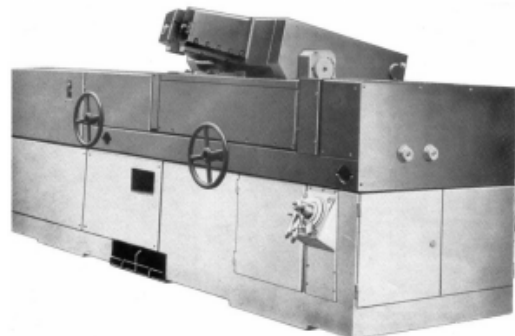
**Fig. 4.1.5.** Mașină modernă de sudat cap la cap cu comandă electro-hidraulică.



**Fig. 4.1.3.** Schema de principiu a mașinii de sudat cap la cap prin presiune și rezistență electrică.



**Fig. 4.1.4.** Bacuri de prindere cu secțiune plană (a), semicirculară (b), sau prismatică (c).

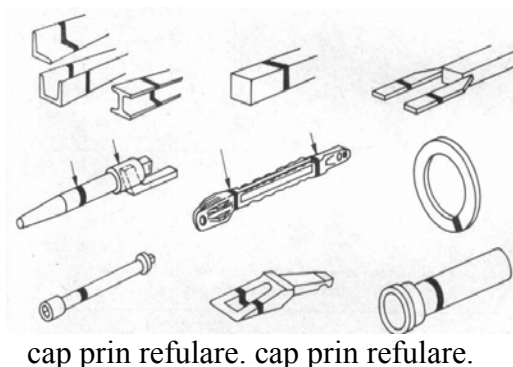


### 4.1.3. Tehnologia sudării cap la cap prin presiune și rezistență electrică.

Sudarea cap la cap prin presiune și rezistență electrică se utilizează foarte mult pentru îmbinarea unor piese sau semifabricate de formă alungită din oțeluri carbon ( $C < 1,5\%$ ), slab sau înalt aliate (oțeluri inoxidabile), cupru, alame, bronzuri, aluminiu, aliaje AlMn și AlMg, sau Ni, Ti, Co etc. și aliajele acestora, cu secțiunea transversală până la  $A < 100.000 \text{ mm}^2$ . Sudabilitatea fiind foarte bună, în toate cazurile se obțin îmbinări sudate de înaltă calitate, cu proprietăți mecanice ridicate ( $R_m = 450-800 \text{ MPa}$ ,  $KCU = 100-200 \text{ J/cm}^2$ ), structură fină și fără defecte

Dintre aplicațiile sudării prin refulare cap la cap prin presiune și rezistență electrică se pot aminti următoarele: axe, arbori, tije, bolțuri, știfturi, pârgăhii, inele, lanțuri, țevi, profile laminate, șine, căi de rulare, sârme, zale de lanțuri, bare cu diferite secțiuni etc. (Fig.4.1.6.). Dintre avantajele metodei mai prezintă importanță următoarele:

- se pot suda dintr-o trecere secțiuni mari,
- nu necesită metal adaos; utilaj mai ieftin;
- productivitate foarte mare;
- posibilitatea mecanizării și automatizării;
- poluare redusă, condiții mai ușoare de muncă.



Procedeul de sudare, din punct de vedere tehnologic are două variante distincte, deși utilajul de sudare este asemănător: - **sudarea prin refulare**;

**a. Sudarea prin refulare** este varianta prin topire intermediară

clasică, care corespunde într-utotul principiului prezentat în subcapitolul 4.1.1. Așa cum rezultă și din ciclograma prezentată în figura 4.1.7. piesele după prelucrarea și degresarea suprafețelor de îmbinare sunt fixate între bacurile mașinii de sudat, se aplică forța de refulare, se cuplează curentul de sudare, iar după obținerea temperaturii necesare, curentul este decuplat, se realizează refularea și piesa se răcește încă între bacuri. Sudarea durează mai mult, calitatea îmbinării este mai slabă, iar bavura mai mare, însă mașina de sudat este mai simplă și ieftină.

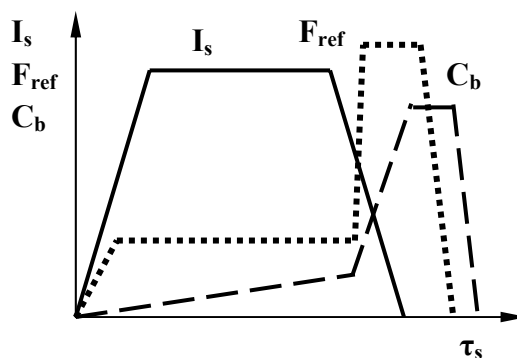


Fig. 4.1.7. Ciclograma sudării prin refulare ( $C_b$ -cursa bacurilor).

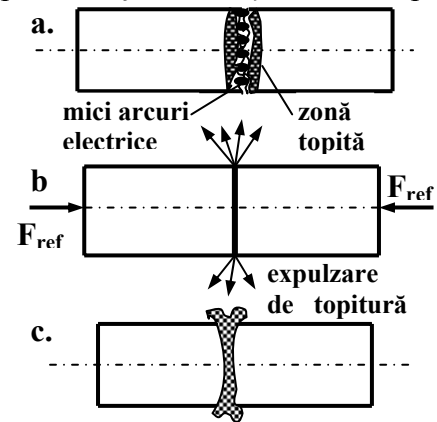
Se aplică la oțeluri carbon și slab aliate, metale și aliaje neferoase, cu secțiunea de  $A < 1000 \text{ mm}^2$  și diametru de  $d_s < 40 \text{ mm}$ . Parametrii principali de sudare prin refulare rezultă din tabelul 4.1.4. Timpul de sudare este de  $\tau_s = 3-30 \text{ s}$ .

Tab. 4.1.4. Parametrii de sudare cap la cap prin refulare.

Metalul de bază	Oțeluri carbon	Oțeluri inox.	Cupru	Aluminiu
Densitatea de curent: $i$ ( $\text{A/mm}^2$ )	70-90	120-180	250-300	150-200
Presiunea de refulare: $p_{ref}$ (Mpa)	20-50	50-80	40-60	15-30
Lungimea liberă: $l$ (mm)	$(0,5-0,7) d_s$	$(0,3-0,5) d_s$	$(1,5-2,0) d_s$	$(1,0-1,5) d_s$

**b. Sudarea prin topire intermediară** se desfășoară prin formarea unor mici arcuri electrice între proeminențele rugozității suprafețelor de îmbinare, care fac ca materialul să se topească

într-o adâncime mică, la un consum relativ mai redus de energie electrică. Piesele pregătite sunt strânse în bacurile de prindere, fiind doar puse în contact fără presiune. În urma cuplării curentului de sudare, pe măsura topirii suprafețelor intensitatea curentului crește la o valoare maximă, la care curentul este decuplat și se aplică forța de refulare, prin care faza lichidă este expulzată, iar sudarea se face în stare solidă prin deformarea la cald a mediară sunt ilustrate în figura 4.1.8. Astfel rezultă că prin presiune și rezistență electrică, prin sudare prin topire intermediară se obține o scurtare mai redusă și bavură mică, în comparație cu sudarea prin refulare. Calitatea îmbinării este superioară, consumul de curent este mai mic, se pot suda secțiuni mari, peste 1000 mm<sup>2</sup>, însă mașina de sudat este mai sofisticată, cu comandă electronică pe bază de program. Ciclograma procesului de sudare este prezentată în figura 4.1.9. Se observă că intensitatea curentului de sudare crește treptat pe măsura topirii rugozităților, iar forța de refulare acționează numai după ce curentul încălzire a atins valoarea maximă. Sudarea prin topire intermediară are o variantă cu preîncălzire, prin care densitatea de curent la sudarea principală se reduce substanțial. Unele date ale regimurilor de sudare prin topire intermediară sunt redată în tabelul 4.1.5.

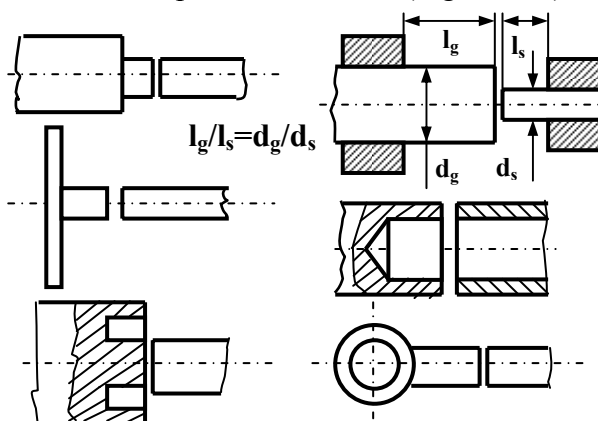


**Fig. 4.1.8.** Fazele sudării cu topire intermediară (a.-formarea arcurilor electrice; b.- expulzarea topiturii c.- aspectul sudurii).

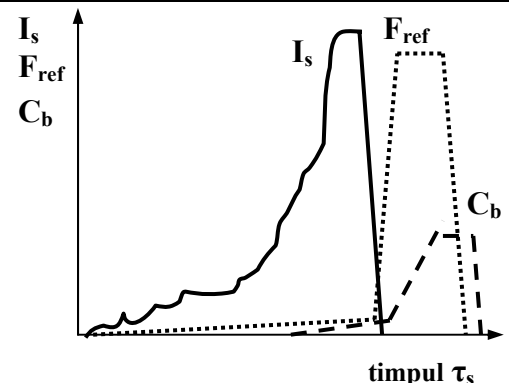
**Tab. 4.1.5.** Parametri de sudare cap la cap prin topire intermediară

Metalul de bază	Oțel moale	Oțel inox.	Cupru	Aluminiu
Densitatea de curent $i$ (A/mm <sup>2</sup> )	5-20	18-30	150-300	100-180
Presiune de refulare $p$ (Mpa)	30-70	140-200	180-300	160-250
Lungimea de prindere $l$ (mm)	$(0,5-0,6)d_p$	$(0,3-0,5)d_p$	$(0,8-1,5)d_p$	$(2-2,5)d_p$

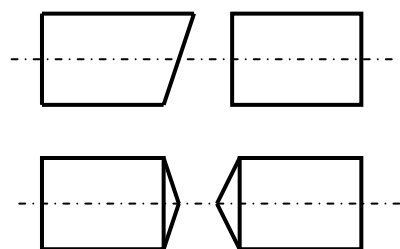
Pentru obținerea unui proces de încălzire uniformă a celor două capete de piese de sudat, trebuie avut în vedere faptul ca secțiunile de îmbinare să fie identice. În acest scop piesa cu secțiunea mai mare trebuie prelucrată la dimensiunea piesei cu secțiunea mai mică, sau dacă este posibil piesa cu secțiunea mai mare trebuie fixată între bacurile de prindere cu o lungime liberă mai mare (Fig.4.1.10.). La secțiuni mari de piese de sudat se recomandă aplicarea unei prelucrări în formă conică sau înclinată pentru ușurarea amorsării procesului de topire intermediară (Fig.4.1.11.).



**Fig. 4.1.10.** Imbinarea cap la cap a unor piese cu secțiune diferită.



**Fig. 4.1.9.** Ciclograma procesului de sudare prin topire intermediară.



**Fig. 4.1.11.** Prelucrarea capetelor pentru amorsarea sudării

## 4.2. SUDAREA ÎN PUNCTE PRIN PRESIUNE ȘI REZISTENȚĂ ELECTRICĂ.

### 4.2.1. Bazele teoretice.

Sudarea în puncte prin presiune și rezistență electrică este un procedeu de sudare în stare solidă aplicat pentru îmbinarea pieselor și elementelor structurilor sudate confecționate din semifabricate sub formă de tablă, dar se aplică și la sudarea elementelor din sârmă sau bară. Bazele fizico-metalurgice sunt asemănătoare cu cele ale sudării cap la cap, prezentate în subcapitolul 4.1.1., cu deosebirile rezultate din forma specifică de tablă a metalului de bază.

Schema de principiu a sudării în puncte prin presiune și rezistență electrică este prezentată în figura 4.2.1. Astfel rezultă că îmbinarea se realizează prin suprapunere pe o anumită lățime a tablelor de grosime  $s$  (mm), strângerea fiind realizată cu ajutorul unor electrozi de contact realizați din cupru sau aliaje de cupru, acționați mecanic cu forța de refulare  $F_{ref}$  (kN), iar curentul electric de preîncălzire trece între electrozii de contact prin cele două table de sudat. Cantitatea de căldură care produce încălzirea se poate determina cu relația 4.1.1. prezentată în capitolul precedent, însă rezistența electrică care apare dintre electrozii de contact se compune din  $R_{\Omega}$ -rezistența ohmică a metalului de bază,  $R_{pp}$ -rezistența de contact dintre piesele de îmbinat și  $R_{cp}$ -rezistența de contact dintre electrozii de cupru și piesa, conform relației 4.2.1.:

$$R = 2R_{\Omega} + R_{pp} + 2R_{cp}; \quad [4.2.1.]$$

Unde:  $R_{\Omega} = 4\rho s / \pi d_e^2$ ; rezistențele de contact depinde de calitatea metalului de bază și a electrozilor de contact, temperatura și presiunea de refulare, așa cum a fost prezentat în subcapitolul 4.1.1. Variația rezistențelor din circuitul de sudare în puncte în funcție de temperatură este dată în figura 4.2.2. Astfel rezultă că în timp ce rezistența ohmică  $R_{\Omega}$  crește cu temperatură, rezistențele de contact între piesele de sudat  $R_{pp}$  și între electrozul de cupru și piesa  $R_{cp}$  scad puternic în funcție de creșterea temperaturii pieselor. Valorile orientative ale acestor rezistențe la temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  înaintea cuplării curentului de sudare sunt

$$R_{\Omega} = 7 \mu\Omega; \quad R_{pp} = 178 \mu\Omega; \quad R_{cp} = 30 \mu\Omega.$$

Procesul de sudare de fapt se produce oarecum diferit față de sudarea cap la cap prin refulare, deoarece rezistența de contact dintre cele două metale de bază are o valoare foarte mare, astfel că aici se produce o încălzire mai pronunțată, care duce la apariția unui nucleu topit a materialului, cu diametrul de  $d_n = (0,8-0,9) d_e$ , care apoi este înconjurat de o zonă de sudare prin deformarea plastică. Sudarea are de asemenea trei faze, care se succed după fixarea și strângerea tablelor între electrozii de contact:

- preîncălzirea la temperatura de deformare la cald ( $1100-1300^{\circ}\text{C}$ );
- refularea prin aplicarea forței de refulare  $F_{ref} = p_{ref} \cdot \pi d_e^2 / 4$ ;

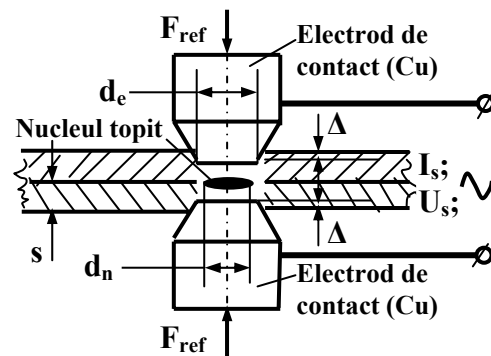


Fig. 4.2.1. Principiul sudării în puncte prin presiune și rezistență electrică.

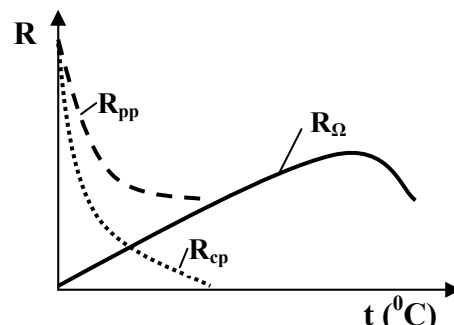


Fig. 4.2.2. Variația rezistențelor electrice din circuitul de sudare în puncte în funcție de temperatură.

-răcirea îmbinării sub presiune, în timp ce are loc solidificarea nucleului topir și recristalizarea zonelor deformate plastic.

Sudarea în puncte prin presiune și rezistență electrică poate să fie bilaterală (a), când sunt utilizați doi electrozi de contact plasați pe ambele părți ale tablelor suprapuse, sau unilaterală (b) când se lucrează cu un singur electrod de contact, din partea superioară a îmbinării și o contrapiesă sub forma unui bac de cupru sau chiar o parte din construcția sudată (c). De asemenea se poate lucra cu un electrod (b), cu doi electrozi (d,e), cu un electrod și un bac de presare (f) sau cu mai mulți electrozi (g), (figura 4.2.2.).

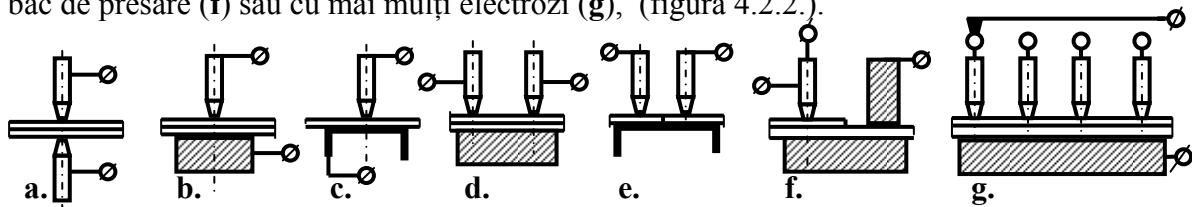


Fig. 4.2.2. Variante ale sudării în puncte prin presiune și rezistență electrică.

#### 4.2.2. Utilajul sudării în puncte prin presiune și rezistență electrică.

Asemănător cu mașinile de sudat cap la cap, utilajul de sudare în puncte se compune din următoarele părți componente (Fig.4.2.3):

- electrozii de contact;
- brățele port electrozi;
- mecanismul de refulare;
- sursa de curent de sudare;
- dispozitivele de comandă.

a. **Electrozii de contact** (se mai numesc și cuie de contact) servesc la strângerea pieselor de sudat, transmiterea curentului de sudare și aplicarea forței de refulare. Electrozi sunt confecționați din cupru sau aliaje de cupru (Tab. 4.2.1.). și sunt răciți cu apă printr-un circuit interior, pentru evitarea supraîncălzirii aliajului peste temperatura maximă de lucru  $t_{max}$ . Un electrod rezistă la 200-12000 de suduri, după care de regulă trebuie schimbați.

Forma electrozilor poate fi foarte variată, de la cea conică, la cele teșite sau încovoiate, în funcție de caracterul pieselor care se sudează (Fig. 4.2.4.). Pentru sudarea tablelor de oțel carbon și oțeluri slab aliate se utilizează electrozii cu vârf tronconic, de tip a și b, pentru sudarea aliajelor ușoare vârfulul electrodului tronconic este rotunjit (c), la sudarea cu mișcare circulară pe arc de cer electrodul este teșit (d), pentru sudarea plaselor de sârme electrodul are capătul plat (e), electrodul cu vârf de wolfram este ilustrat în schița f, iar pentru sudarea pieselor de formă complicată se utilizează electrozi încovoiați tip g.

b. **Brățele portelectrod** de regulă sunt confecționate din alamă, având ca scop transmiterea curentului de sudare, a forței de

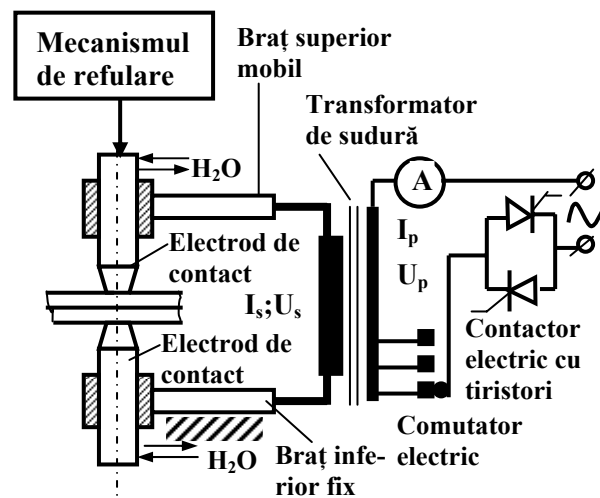


Fig. 4.2.3. schema de principiu al mașinii de sudat în puncte prin presiune și rezistență electrică.

Tab. 4.2.1. Aliaje de cupru pentru electrozii de sudare în puncte prin presiune și rezistență

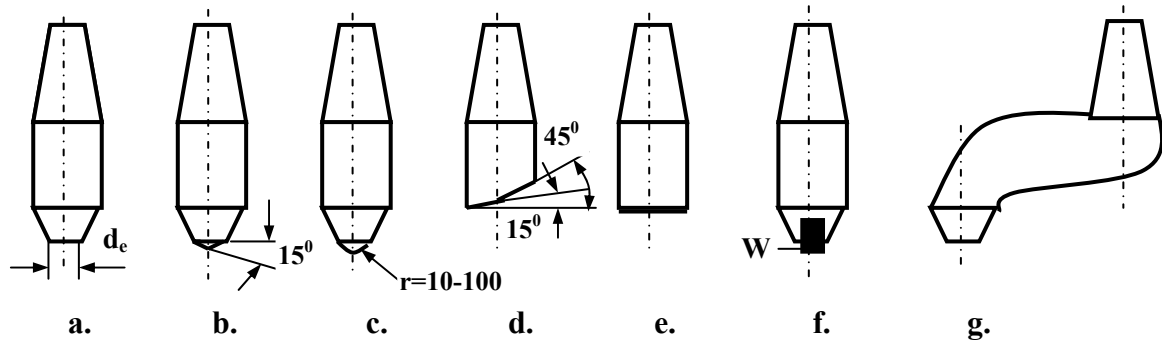
Aliajul	Elemente aliere(%)	$\Psi$ (%)	HB (kg/mm <sup>2</sup> )	$t_{max}$ (°C)
CuCr	Cr=0,4-1	80	120	370
CuCrZr	Cr=0,1-1 Zr=0,03-0,2	85	130	500
CuNiBe	Ni=1,4-1,6 Be=0,2-0,4	50	170	510
CuCd	Cd=0,9-1,2	85	110	300
CuNiSi	Ni=3-4 Si=0,6-1	40	140	450
CuW	W=1-5	75	160	550
CuAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =1-3	70	210	580

$\Psi$ -conductivitatea electrică relativă a aliajului față de cea a cuprului;

HB-duritatea aliajului la 20°C;

$t_{max}$ -temperatura maximă de funcționare.

refularea și a apei de răcire la electrod, care se introduce într-un ajutoraj conic 1:10.



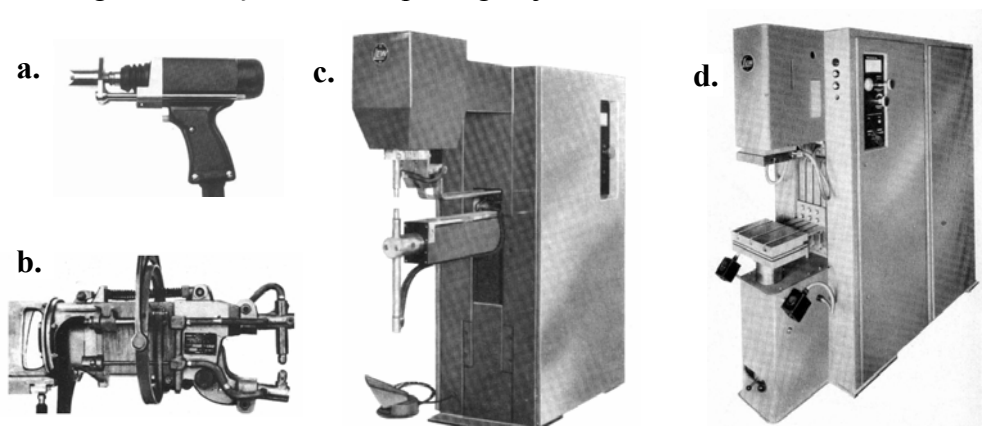
**Fig. 4.2.4.** Forme ale vârfului electrozilor de sudare în puncte, cu suprafață plană (a), conică (b), semisferică (c), teșită (d), plată (e), cu wolfram (f) și încovoiat (g).

**c. Mecanismul de refulare** realizează deplasarea pe verticală a electrodului superior de contact în vederea strângerii pieselor de sudate, aplicarea forței de presare pentru preîncălzire și acționarea forței de refulare. Cele mai utilizate mecanisme de acționare sunt cu comandă manuală tip clește (până la o forță de presare de 20daN), cu pedală și pârgă cu arc (între 20-50 daN), mecanică cu came și pârgă, electro-pneumatică (50-500 daN) sau electro-pneumo-hidraulică (peste 500 daN).

**d. Sursa de curent** este transformator de sudură de construcție asemănătoare cu cea de la sudarea cap la cap prin presiune și rezistență electrică, livrând un curent de sudare de tensiune joasă și intensitate foarte mare:  $U_s=3-12\text{ V}$ ,  $I_s=2-50\text{ kA}$ .

**e. Dispozitivele de comandă** sunt electrice sau electronice cu contactoare, ignitroane sau tiristoare comandate pe bază de program reglabil computerizat. Aceste dispozitive permit reglarea și modificarea în timpul sudării a intensității curentului de sudare, a forței de presare și asigură reproductibilitatea timpului de sudare prestabilit.

Din punct de vedere constructiv se deosebesc patru tipuri de utilaje de sudare în puncte prin presiune și rezistență electrică (Fig.4.2.5). Pistolul de sudare (a) se utilizează pentru sudare unilaterală cu acționare manuală, pentru realizarea caroseriilor de mașini și carcase de utilaje la care dispozitivele de sudare bilaterală sunt inaccesibile. Cleștele de sudare în puncte (b) se folosește la sudarea cu acționare bilaterală a construcțiilor mari din tablă, cu acces bun la îmbinare, cum sunt caroserii de autovehicule, vagoane, carcase, cutii, schelete, rame, suporturi de dimensiuni mari etc. De multe ori cleștele de sudare se montează pe roboți de sudare, realizând construcții sudate pe bază de program asistat de calculator. Mașina de sudat este staționară (c) și servește la realizarea construcțiilor sudate mici prin manevrarea manuală a acestora, în condițiile sudării bilaterale. Presele de sudare (d) de asemenea sunt staționare, fiind utilizate pentru sudarea multipuncte uni- sau bilaterală a pieselor mici ștanțate, îndoite sau ambutisate din tablă, în cadrul producției în serie mare sau în masă ca organe de mașini, cutii, capace, grilaje etc.



**Fig. 4.2.5.** Utilaje de sudare în puncte (a-pistol; b-clește; c-mașină; d-presă).

### 4.2.3. Tehnologia sudării în puncte.

Sudarea în puncte prin presiune și rezistență electrică este pe larg utilizată în industrie, pentru realizarea de utilaje și elemente de mașini din tablă de oțeluri carbon și aliate, oțeluri inoxidabile, Cu, Al, Ti și aliajele lor de **0,1-10 mm grosime** (tije, pârgii, roți, stative, suporturi, schelete, stâlpi, rame, grinzi, carcase, dulapuri, caroserii, vagoane, plase de sârme, grilaje pentru armarea betonului etc. (Fig. 4.2.6.).

Aplicarea pe scară largă a sudării prin puncte se datorește multiplelor avantaje pe care le prezintă:

- sudabilitate foarte bună a tuturor metalelor și aliajelor;
- calitate foarte bună a cusăturii sudate;
- productivitate mare;
- nu necesită metal adaos;
- tensiuni și deformații mici;
- posibilitatea mecanizării, automatizării și robotizării procesului de sudare;
- preț de cost redus;
- condiții mai ușoare de muncă;
- nu poluează mediul.

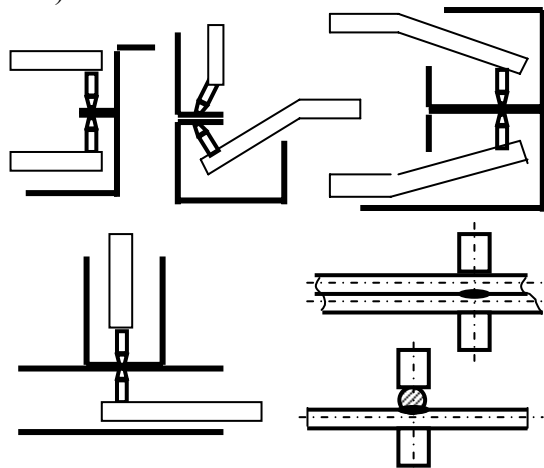


Fig. 4.2.6. Exemple de îmbinări și structuri sudate în puncte.

Parametrii de sudare se stabilesc în funcție de grosimea și calitatea metalului de bază. Diametrul vârfului electrodului de contact, de regulă se determină cu următoarele relații:

$$d_e = 2s + 3 \text{ (mm)} \quad \text{pentru sudarea tablelor cu } s \leq 3 \text{ mm} \quad [4.2.2.]$$

$$d_e = 5\sqrt{s} \text{ (mm)} \quad \text{pentru sudarea tablelor cu } s > 3 \text{ mm} \quad [4.2.3.]$$

Valoarea intensității curentului de sudare  $I_s$  și forței de refulare  $F_{ref}$  se determină din densitatea curentului de sudare  $i_s$  ( $A/mm^2$ ) și presiunea specifică de refulare  $p_{ref}$  (Mpa), care pot fi diferite în funcție de regimul de sudare. Se pot aplica două regimuri de sudare, în raport cu condițiile impuse sudării:

- a. **Sudarea cu regim moale** care se caracterizează prin valori mai mici ai curentului de sudare și timp mai lungi de preîncălzire în vederea refulării. Zona încălzită rezultă mai mare, metalul de bază poate fi mai ușor deformat, iar vitezele de încălzire și răcire sunt mai reduse, prin care se evită formarea de structuri de călire. Sudarea cu regim moale se aplică pentru lucrări de asamblare-sudare, pentru sudarea tablelor de oțeluri aliate și cu conținut mai mare de carbon, ușor călibile, cu grosimi mai mari  **$s > 6 \text{ mm}$**  cu următorul regim:

$$\begin{array}{ll} i_s = 80-160 \text{ A/mm}^2; & \tau_s = (0,8-3)s \text{ (s);} \\ p_{ref} = 20-30 \text{ MPa; pentru } s < 3 \text{ mm;} & p_{ref} = 40-80 \text{ MPa; pentru } s > 3 \text{ mm;} \end{array}$$

- b. **Sudarea cu regim dur** (tare) se realizează cu intensitate mare de curent de sudare și timp scurt de preîncălzire. Astfel rezultă o zonă mică de influență termică, productivitate mare de sudare și pierderi mai reduse de căldură prin conducție în tablele de sudate. Se aplică pentru fabricarea în serie mare sau în masă a structurilor sudate prin puncte, precum și pentru sudarea tablelor din metale și aliaje cu conductibilitatea termică ridicată pe bază de Cu și Al. Varianta se aplică la sudarea tablelor subțiri cu  **$s < 6 \text{ mm}$** , cu următorul regim:

$$\begin{array}{ll} i_s = 200-400 \text{ A/mm}^2; & \tau_s = (0,1-0,3)s \text{ (s);} \\ p_{ref} = 30-50 \text{ MPa; pentru } s < 3 \text{ mm;} & p_{ref} = 50-100 \text{ MPa; pentru } s > 3 \text{ mm;} \end{array}$$



**Ciclogramele** proceselor de sudare în puncte pot fi foarte diferite în funcție de materialul și condițiile de sudare (Fig.4.2.7.). Cea mai simplă ciclogramă (a.) utilizată mai mult la sudarea manuală a tablelor subțiri de  $s = 0,5-5$  mm, ilustrează un proces de prindere și strângere a pieselor cu forța de refulare, cuplarea curentului de sudare pâna la atingerea temperaturii de preîncălzire, refularea la cald și răcirea fără eliberarea pieselor. In cazul variantei b. forța de strângere în timpul preîncălzirii este mai mică pentru protejarea vârfului electrodului de contact, ca la atingerea temperaturii de sudare și decuplarea curentului, să crească la valoarea de refulare prin care impuritățile dintre table sunt expulzate. La varianta c. forța de strângere este mai mare la început, pentru apropierea tablelor prin deformare la rece, apoi forța scade pentru perioada de preîncălzire și crește la valoarea de refulare pentru sudare. In ciclograma d. este prezentat cazul aplicat la sudarea tablelor mai groase de  $s > 5$  mm la care curentul de sudare se aplică în 3-5 impulsuri, pentru a asigura intervale de timp pentru răcirea electrodului de contact. Diagrama e. ilustrează cazul la care după sudare curentul este din nou cuplat la o valoare mai mică pentru efectuarea unui tratament termic de recoacere a punctului sudat. In final se prezintă o ciclogramă cu intensitatea variabilă a curentului de sudare, aplicat la sudarea tablelor de aluminiu (f.)

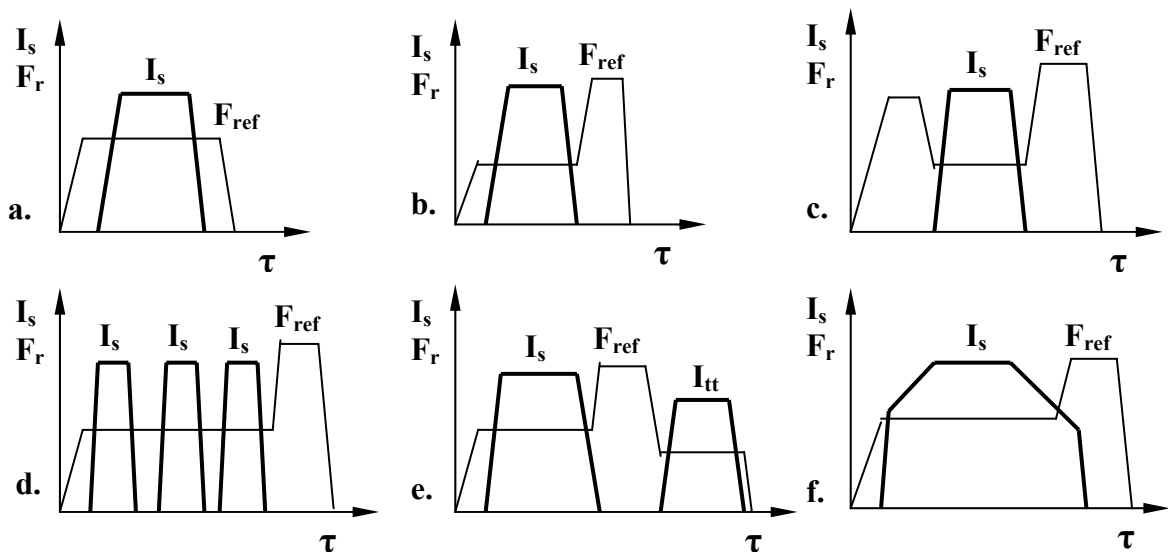


Fig. 4.2.7. Ciclograme ale diferitelor variante de sudare în puncte prin presiune și rezistență electrică.

Valorile parametrilor principali de sudare ( $I_s$ ,  $F_{ref}$  și  $\tau_s$ ), pot fi calculate din densitățile de curent ( $i_s$ ) și presiunile specifice de presare ( $p_{ref}$ ) indicate pentru variantele de sudare cu regim moale sau dur, înmulțite cu aria suprafeței frontale ale vârfului electrodului de contact, cu diametrul  $d_e$ .

In figura 4.2.8. este prezentată variația parametrilor de sudare în puncte a tablelor de oțel nealiat, cu conținut scăzut de carbon în funcție de grosimea metalului de bază, corespunzător regimului dur de sudare. Astfel rezultă că parametrii de sudare cresc liniar cu creșterea grosimii tablelor de sudat, ceea ce înseamnă că alegerea lor este o operație relativ mai simplă. Totuși se recomandă verificarea în practică pe epruvete de încercare mecanică și tehnologică a parametrilor determinați, indiferent de metoda determinare utilizată.

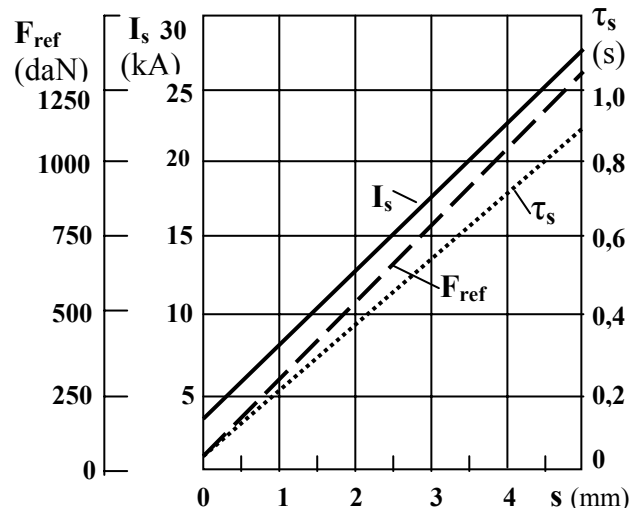


Fig. 4.2.8. Variația parametrilor de sudare în puncte cu regim dur a tablelor de oțel carbon.

În tabelul 4.2.2. sunt prezentate o serie de date privind regimurile de sudare în puncte cu regim moale și regim dur a tablelor de oțeluri carbon și slab aliate, oțeluri inoxidabile și de aluminiu, pentru grosimi de material până la 3 mm.

**Tab. 4.2.2.** Regimurile de sudare în puncte a diferitelor materiale metalice.

s (mm)	Regim moale					Regim dur				
	d <sub>e</sub> (mm)	I <sub>s</sub> (kA)	F <sub>ref</sub> (daN)	τ <sub>s</sub> (s)	d <sub>n</sub> (mm)	d <sub>e</sub> (mm)	I <sub>s</sub> (kA)	F <sub>ref</sub> (daN)	τ <sub>s</sub> (s)	d <sub>n</sub> (mm)
<b>Table de oțel carbon și slab aliate cu C &lt; 0,3%</b>										
0,5	4	4	60	0,4	3,5	4	6,5	150	0,05	3,5
1,0	6	5	100	0,8	4,5	6	9	250	0,10	4,5
1,5	6	6	150	1,2	5,5	6	10	350	0,20	5,5
2,0	7	7	200	1,6	6,5	7	14	500	0,24	6,5
2,5	8	8	250	2,0	7,5	8	16	700	0,30	7,5
3,0	9	9	300	2,4	8,5	9	18	800	0,36	8,5
4,0	11	10	380	2,8	10,5	11	22	1200	0,42	10,5
5,0	13	12	450	3,4	12,5	13	25	1700	0,56	12,5
<b>Table de oțel inoxidabil cu 18%Cr și 8%Ni</b>										
0,5	4	3	175	0,6	3,5	4	16	240	0,08	3,5
1,0	5	7,6	400	1,0	4,5	5	21	380	0,16	4,5
1,5	6	11	650	1,2	5,5	6	25	540	0,24	5,5
2,0	7	14	800	1,4	6,5	7	29	850	0,30	6,5
2,5	7,5	16	1000	1,8	7,0	7,5	33	1100	0,34	7,0
3,0	8,5	18	1200	2,2	8,0	8,5	36	1400	0,38	8,0
<b>Table de aluminiu</b>										
0,5						3,5	18	180	0,08	3,5
1,0						4,0	30	250	0,12	4,5
1,5						5,0	35	320	0,16	5,5
2,0						6,0	40	400	0,22	6,5
2,5						6,5	50	520	0,28	7,5
3,0						7,0	58	600	0,34	8,5

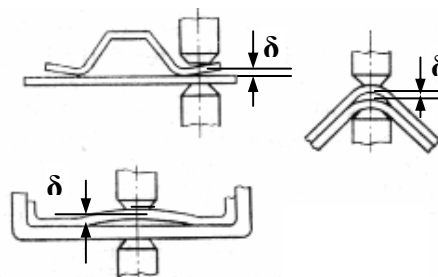
La asamblarea în vederea sudării trebuie avut în vedere o foarte bună suprapunere a tablelor, ca spațiul dintre suprafețele de sudat să fie cât mai mic. Astfel electrozii de contact nu trebuie să deformeze tablele înaintea cuplării curentului, ceea ce duce la obținerea unor suduri de calitate superioară. Limitele admisibile ale interșiului dintre piesele de sudat (Fig.4.2.9.) sunt următoarele:

- la table ușor deformabile:  $\delta = 0,4-0,6$  mm;
- la table rigide, tari:  $\delta = 0,05-0,2$  mm.

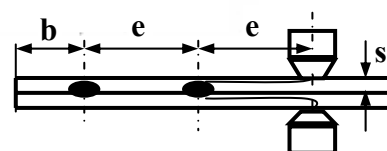
Distanța dintre punctele sudate se alege în funcție de scopul îmbinării:

- cusături etanșe:  $e = (0,6-0,8)d_e$ ;
- cusături de rezistență:  $e = 5-20$  mm;
- cusături de asamblare:  $e = 20-50$  mm.

La alegerea distanței dintre puncte trebuie ținut cont de efectul de scurtcircuitare a punctelor deja sudate. Se recomandă ca  $e > 9s$ , iar distanța până la marginea tablelor să fie  $b > 1,5d_e$ . De regulă nu se fac mai mult de 2 rânduri de puncte sudate (Fig.4.2.10.)



**Fig. 4.2.9.** Asamblarea cu interșiți a tablelor pentru sudare în puncte.



**Fig. 4.2.10.** Distanța dintre puncte.

### 4.3. SUDAREA ÎN LINIE PRIN PRESIUNE ȘI REZISTENȚĂ ELECTRICĂ

#### 4.3.1. Bazele teoretice.

Sudarea în linie (sudarea cu role) prin presiune și rezistență electrică este de fapt o sudare în stare solidă în puncte succesive, la care electrozii de contact sub formă de cuie sunt înlocuiți cu role de contact de cupru, care realizează strângerea și refularea tablelor de îmbinat, transmiterea curentului de sudare și printr-o mișcare continuă sau intermitentă de rotație realizează avansul pieselor de sudat.

Schema de principiu a sudării în linie este prezentată în figura 4.3.1. Rolele de cupru cu diametrul  $D_r$  (mm) și lățimea  $b_r$  (mm) realizează mecanizat și automat toate fazele de lucru cunoscute de la sudarea în puncte: strângerea, preîncălzirea, refularea și răcirea sub presiune. Prin rotirea cu turația  $n_r$  (rot/min.) a rolor, se obține avansul procesului de sudare de a lungul cusăturii. Preîncălzirea are loc prin rezistență electrică, ca la sudarea în puncte conform relației 4.2.1. De multe ori rolele realizează în plus forjarea punctului sudat, cu diametrul  $d_n$ .

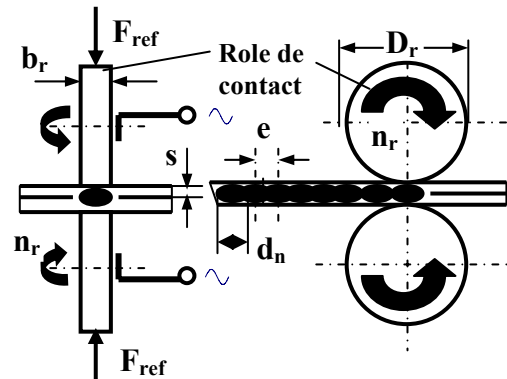


Fig. 4.3.1. Schema de principiu a sudării în linie prin presiune și rezistență electrică.

**Sudarea în linie se aplică** în industrie pentru sudarea tablelor de oțeluri nealiate, slab aliate, sau înalt aliate (oțeluri inoxidabile), a tablelor de aluminiu, AlMn, AlMg, cu grosimea de  $s = 0,2-4$  mm pentru realizarea de construcții sudate sub formă de cutii, carcase, rezervoare, canistre, bidoane, radiatoare, grinzi, tamburi, tije, pârgșii, role, roți, țevi etc., unde se poate asigura accesul la cusătură a rolor de contact, înlocuind foarte avantajos sudarea cu flacăra, cu arc electric în atmosfere protectoare, sau sudarea în puncte. Dintre avantajele sudării în linie se poate evidenția productivitatea ridicată, mecanizarea și automatizarea procesului, obținerea de cusături etanșe. Ca dezavantaj apare costul ridicat al mașinii de sudat în linie și necesitatea accesului bun la îmbinare și forma simplă a cusăturilor care se pot suda.

În funcție de poziția și numărul rolor de contact, precum și felul îmbinărilor sudate se deosebesc următoarele **variante ale sudării în linie** (Fig.4.3.2.):

- sudarea bilaterală cu două role (a);
- sudarea unilaterală cu o rolă (b);
- sudarea unilaterală cu două role (c,d);
- sudarea unilaterală cu tambur de contact (e);
- sudarea unilaterală cu role multiple (f);
- sudarea prin suprapunere (a-f);
- sudarea cap la cap prin deformare plastică (g);
- sudarea cap la cap cu benzi adiționale (h);
- sudarea în muchie (i).

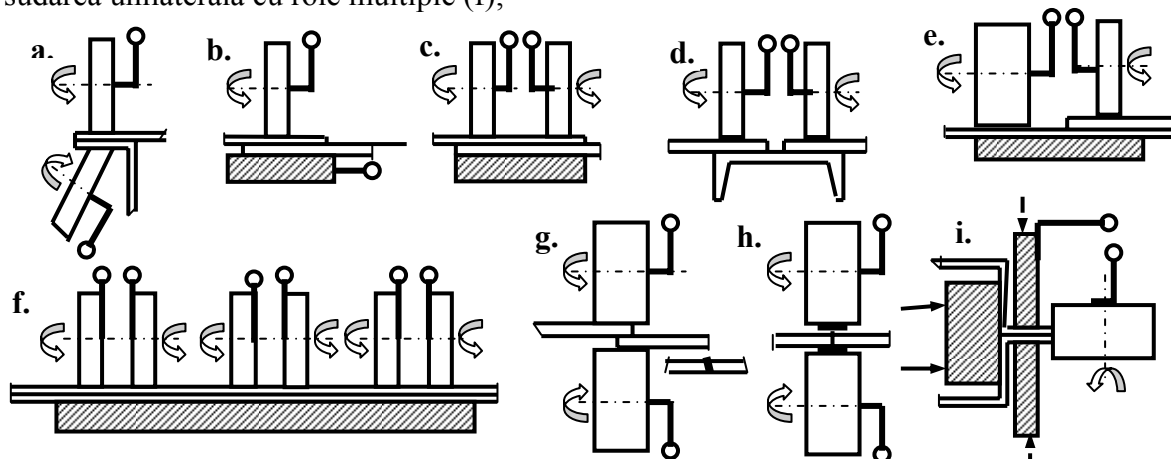


Fig. 4.3.2. Variante ale sudării în linie prin presiune și rezistență electrică.

### 4.3.2. Mașina de sudate în linie.

Mașina de sudate în linie prin presiune și rezistență electrică are părți componente asemănătoare cu cele ale utilajelor de sudare cap la cap sau în puncte. Astfel conform figurii 4.3.3. se pot deosebi următoarele unități funcționale de bază:

- role de contact;
- mecanismul de rotire a rolor;
- mecanismul de refulare;
- sursa de curent;
- dispozitivele de comandă electrică.

**Rolele de contact** sunt confecționate din cupru sau aliaje de CuCr, CuZr, CiNi etc. cu durezza de 150-250HB, prezentate deja în tabelul 4.2.2.

Diametrul rolor este de  $D_r = 50-300\text{mm}$ , iar lățimea se calculează din grosimea tablelor de sudate  $b_r = 2s + 3\text{ mm}$ . Mărimea punctului sudat rezultă cu 1 mm mai mică:

$d_n = 2s + 2\text{ mm}$ . Forma rolor poate fi cilindrică, cu sau fără teșire, tronconică, sau cu suprafață curbată, utilizată la sudarea tablelor din aliaje ușoare (Fig. 4.3.4).

Printr-un circuit interior rolele sunt răcite cu apă, dar ele pot fi răcite și din exterior.

În funcție de poziția rolor de contact mașinile pot suda transversal, longitudinal sau circular (Fig. 4.3.5). Ele pot executa o singură cusătură, două cusături sau mai multe cusături, dintr-o parte sau din ambele părți. Aspectul unei mașini moderne de sudat în linie este dat în figura 4.3.6.

**Mecanismul de rotire** este cu acționare electro-mecanică, compus dintr-un motor electric de curent continuu, reductor de turație și ax cardanic, asigurând rolor o rotație cu turație de  $n_r = 1-60\text{ rot/min}$ .

**Mecanismul de refulare** acționează asupra brațului superior port rolă, prin sisteme de pârghii, arcuri, excentrice, pneumatice sau hidraulice.

**Sursa de curent** este de asemenea transformator de construcție specială, ca la sudarea în puncte, asigurând curent de sudare de  $U_s = 3-16\text{ V}$  și  $I_s = 5-50\text{ kA}$ .

**Dispozitivele de comandă** sunt electronizate, asigurând reglarea parametrilor curentului de sudare, a forței de strângere și refulare, a timpilor de încălzire, refulare, rotire, a întregii ciclicități a procesului de sudare, pe bază de program, prin comanda tiristoarelor de lucru.

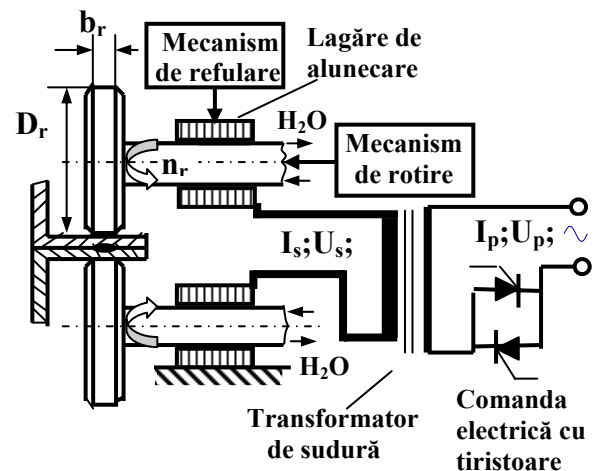


Fig. 4.3.3. Schema de principiu a mașinii de sudat în linie.

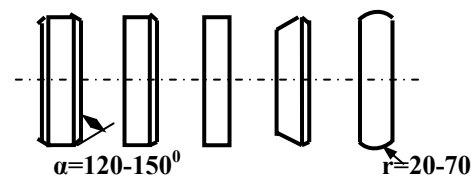


Fig. 4.3.4. Forma rolor de contact.

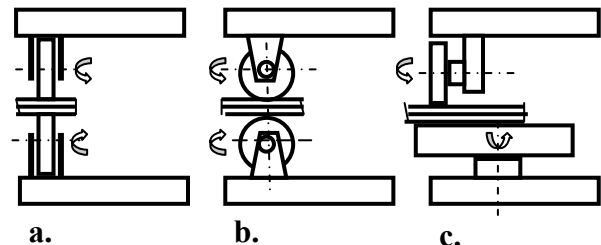


Fig. 4.3.5. Sudarea în linie transversală (a), longitudinală (b) și circulară (c).

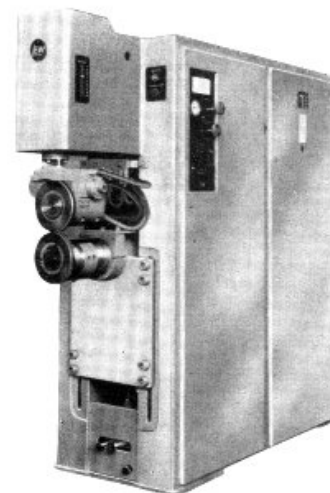


Fig. 4.3.6. Mașina de sudat în linie.

### 4.3.3. Tehnologia sudării în linie prin presiune și rezistență electrică.

Din punct de vedere al desfășurării procesului de sudare se cunosc mai multe tipuri de regimuri de lucru, având ciclogramele aferente diferite (Fig. 4.3.7.).

Cea mai simplă variantă este **sudarea cu regim constant (a)**, care se caracterizează prin cuplarea și menținerea constantă a intensității curentului de sudare, a forței de presare-refulare și a vitezei de rotire a rotelor de contact. Utilajul este mai simplu, însă cusătura va avea o rezistență mai redusă din cauza supraîncălzirii materialului, și apare un grad pronunțat de uzură a rotelor de contact.

Este mult mai avantajoasă varianta de **sudare cu impulsuri de curent (b)** la care de fapt rezultă îmbinări sudate în puncte succesive, cu pasul dintre puncte  $e_p$ , determinat de viteza de sudare  $v_s$  (m/h) și timpul unui ciclu de sudare  $\tau_c = \tau_i + \tau_p$  (s), unde  $\tau_i$  – este timpul de încălzire și  $\tau_p$  – timpul de pauză:

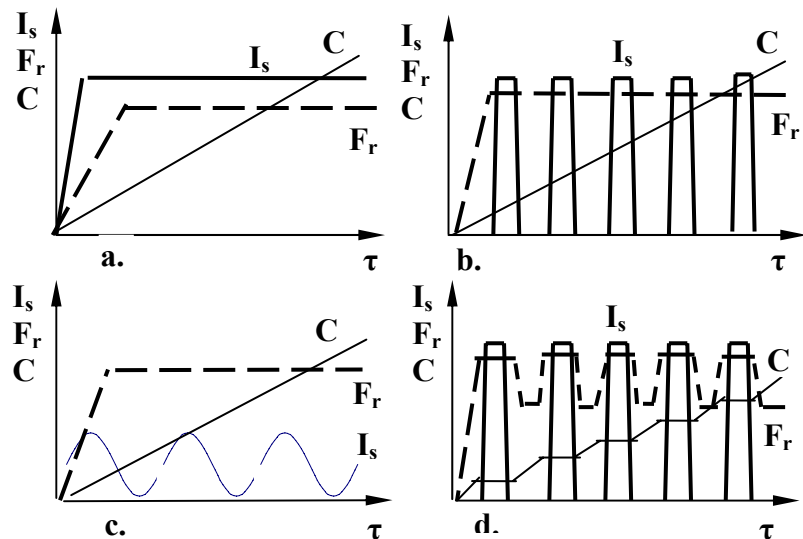
$$e_p = \frac{1}{3,6} \cdot v_s \cdot \tau_c; \quad (\text{mm}) \quad [4.3.1.]$$

$$\frac{\tau_i}{\tau_c} = 0,3 - 0,5; \quad [4.3.2.]$$

La acest regim cel mai frecvent aplicat, cusătura rezultă de înaltă calitate, productivitatea este mare, iar uzura rotelor va fi mai redusă din cauza răcirii lor între impulsurile de curent.

De asemenea există mașini de sudat în linie utilizând **curent alternativ modulată (c)** la care celalți parametri se mențin constanți, iar pasul între punctele sudate rezultă din viteza de sudare  $v_s$ , și frecvența de modulare  $f$  a curentului electric:  $e_p = v_s / 3,6 \cdot f$ ;

În figura 4.3.7.d, este prezentată ciclograma de sudare **cu toți parametrii variabili**, curentul de sudare se cuplează în impulsuri, forța de refulare scade în perioada de deplasare a tablelor de sudat pentru a reduce frecările și uzura rotelor, iar rotirea rotelor este intermitentă, oprindu-se pentru perioada de încălzire și refulare. În unele cazuri avansul în direcția de sudare se realizează în pas de pelerin, rotirea rotelor se produce cu revenire, prin care are loc o forjare a punctului sudat.



**Fig. 4.3.7.** Ciclograme ale diferitelor variante de sudare în linie (a.-cu parametrii constanți; b.-cu impulsuri de curent; c.-cu curent modulată; d.-cu impulsuri de curent, forță variabilă și avans intermitent).

Alegerea parametrilor de sudare se realizează în funcție de calitatea și grosimea tablelor de îmbinat, dimensiunile și pasul punctelor de sudură care trebuie obținute. Tablele pregătite în vederea sudării (îndreptate, decapate, degresate etc.) vor fi suprapuse pe o lățime de  $B = (1,2-1,5) b_r$  în funcție de lățimea  $b_r$  a rotelor de contact. În cazul sudării în puncte cu deformare (Fig. 4.3.2.g.), suprapunerea este numai de  $B = (0,5-0,8) b_r$ , iar la sudarea cu benzi de adaos (Fig. 4.3.2.h.), lățimea acestora este de 4-6 mm. Jocul dintre table înainte de sudare nu trebuie să depășească  $\delta < 0,5$  mm.

Intensitatea curentului poate fi apreciată față de sudarea în puncte, fiind cu 50-100% mai mare:  $I_{\text{linie}} = (1,5-2) I_{\text{puncte}}$ . Forța de refulare se încadrează între valorile de  $F_{\text{ref}} = 3-15$  kN, iar viteza de sudare este de  $v_s = 1-12$  m/min. O relație grafică între parametrii principali de sudare este prezentată în figura 4.3.8.

În nomogramă, liniile drepte și înclinată indică grosimea tablelor  $s$  (mm), iar curbele trasate cu linii întrerupte arată variația forței de refulare  $F_r$  (daN). Curba plină groasă reprezintă **regimul optim** de sudare. Coordonatele punctelor de intersecție dintre dreptele grosimilor de tablă și curba regimului optim indică valoarea recomandabilă a intensității curentului de sudare  $I_s$  (kA) în funcție de viteza de sudare  $v_s$  (m/min).

În tabelul 4.3.1. au fost concretizate o serie de valori practice ale parametrilor de sudare în linie a oțelurilor carbon, slab aliate, inoxidabile de tip Cr18Ni8, precum și a tablelor de aluminiu, cupru și aliajele mai importante ale acestora.

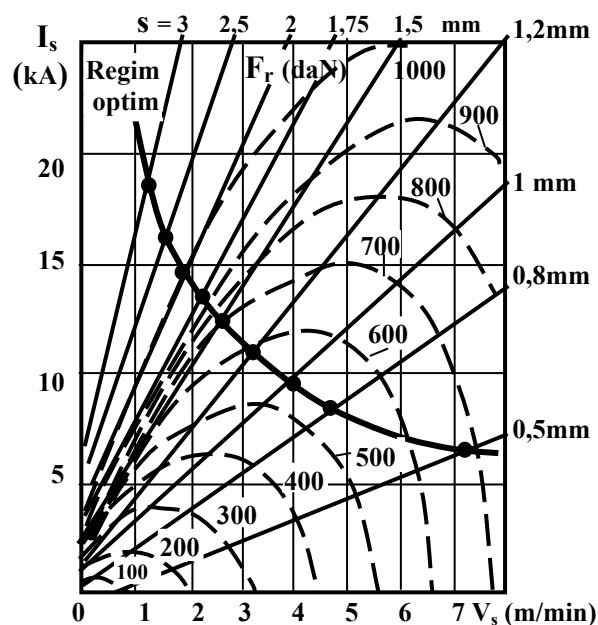


Fig. 4.3.8. Nomogramă parametrilor optimi de sudare în linie a oțelurilor carbon și slab aliate.

Tab. 4.3.1. Principalii parametri de sudare în linie a diferitelor metale și aliaje.

Grosimea tablei (mm)	$I_s$ (kA)	$\tau_s$ (s)	$\tau_c$ (s)	$F_{ref}$ (daN)	$V_s$ (m/min)
<b>Oțeluri carbon și slab aliate moi</b>					
0,5	7-8	0,02-0,04	0,04-0,06	150-200	1,2-1,6
0,8	8-10	0,04-0,06	0,04-0,08	200-300	1,0-1,4
1,0	10-12	0,06-0,08	0,08-0,10	300-400	0,8-0,9
1,2	12-13	0,08-0,10	0,10-0,12	400-500	0,7-0,8
1,5	13-14	0,12-0,14	0,12-0,14	500-600	0,6-0,7
2,0	15-17	0,16-0,18	0,18-0,22	700-800	0,5-0,6
3,0	18-22	0,24-0,32	0,28-0,34	1000-1200	0,4-0,5
<b>Oțeluri inoxidabile cu Cr=18% și Ni=8%</b>					
0,5	5-7	0,02-0,04	0,06-0,08	300-350	0,6-1,3
0,8	7-9	0,04-0,06	0,08-0,12	400-500	0,5-1,0
1,0	9-11	0,06-0,08	0,12-0,16	500-650	0,5-0,8
1,2	10-12	0,06-0,08	0,14-0,18	600-700	0,5-0,8
1,5	11-13	0,08-0,10	0,16-0,20	700-900	0,4-0,7
2,0	12-16	0,12-0,16	0,24-0,32	1000-1400	0,3-0,6
3,0	14-18	0,20-0,30	0,60-0,70	1300-1600	0,2-0,4
<b>Aluminiu și aliajele AlMg, AlMn</b>					
0,5	22-26	0,03-0,04	0,09-0,10	220-250	0,6-0,7
1,0	30-35	0,05-0,06	0,16-0,18	320-350	0,4-0,5
1,5	38-40	0,08-0,10	0,22-0,24	420-450	0,3-0,4
<b>Cupru și aliajele CuZn, CuSn, CuAl</b>					
0,5	18-20	0,05-0,06	0,05-0,06	180-220	0,7-0,8
1,0	25-30	0,07-0,08	0,10-0,12	380-400	0,6-0,7
1,5	35-38	0,10-0,12	0,14-0,16	540-560	0,5-0,6

#### 4.4. SUDAREA ÎN RELIEF PRIN PRESIUNE ȘI REZISTENȚĂ ELECTRICĂ.

##### 4.4.1. Principiul sudării în relief.

Sudarea în relief este un procedeu de sudare în stare solidă, cu preîncălzire prin rezistență electrică și refulare prin presiune, având bazele teoretice și principiul asemănător cu sudarea în puncte, cu deosebirea că în loc de electrozi de contact de cupru care se uzează rapid, pe una din tablele de îmbinat se realizează prin ambutisare niște proeminente (cocașe, bosaje), prin care trece curentul de preîncălzire și care prin refulare reîntră la nivelul tablei, formând prin topire intermediară nucleul punctului sudat.

Schema de principiu și desfășurarea procesului de sudare este prezentată în figura 4.4.1. Tabla superioară prezintă 2-15 cocoșe de formă tronconică, semisferică, sau cilindrică ambutisate de regulă în cadrul procesului de ștanțare-ambutisare a pieselor, iar tabla inferioară este plană. Tablele sunt suprapuse și strânse între două bacuri de cupru răcite cu apă prin circuit interior, legate la bornele înfășurării secundare a unui transformator de sudare de construcție identică cu cele utilizate la sudarea cap la cap, prin puncte sau în linie, prezentate în capitolele precedente.

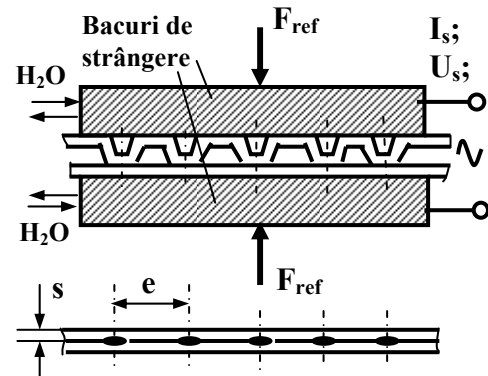


Fig. 4.4.1. Principiul sudării prin relief.  
a. -înainte-; b. -după sudare.

Sudarea în relief se aplică pentru îmbinarea pieselor, organelor de mașini, cutiilor, carcaselor rezervoarelor etc. ambutisate din table de oțeluri carbon și slab aliate cu grosimea de  $s = 0,5-5 \text{ mm}$ . Se pot îmbina două, trei sau mai multe table suprapuse, dar sudarea în relief se aplică frecvent și pentru sudarea unor prezoane, știfturi, șuruburi, țevi sau inele etc. pe suprafața tablelor. Câteva aplicații mai semnificative sunt ilustrate în figura 4.4.2.

Sudarea în relief este pe larg utilizată în industria construcțiilor de mașini și utilaje, în special în industria de autovehicule, în producție de serie mare sau de masă, datorită avantajelor tehnico-economice multiple:

- calitate foarte bună a sudurii;
- productivitate foarte mare;
- consum redus de electrod de Cu;
- producție mecanizată, automată.

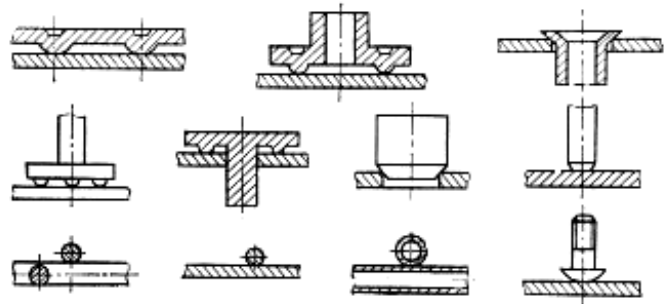


Fig. 4.4.2. Aplicații ale sudării în relief pentru table, bucușe, țevi, axe, butucuri, știfturi, sârme, bare, buloane.

##### 4.4.2. Tehnologia sudării în relief.

Utilajul de bază a sudării în relief este presă de sudare prin presiune și rezistență electrică, prezentată deja în capitolul 4.2. (Fig. 4.2.5.d.).

**Proeminențele** se execută prin ambutisare, dimensiunile fiind determinate în funcție de grosimea tablei de sudat (Fig. 4.4.3.):

$$d = s; \quad D = 2s + 1; \quad h = (0,5-1) s; \quad \delta = (0,7-1)s;$$

Pasul dintre proeminențe este de  $e > 2,5 D$ .

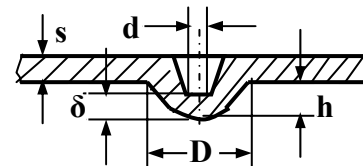


Fig. 4.4.3. Dimensiunile proeminențelor.

Parametrii regimurilor de sudare în relief sunt aleși în funcție de grosimea tablei și numărul de proeminențe care se sudează concomitent. Ca urmare se aplică următoarele limite ale parametrilor de sudare:

- tensiunea curentului electric de preîncălzire:  $U_s = 3-12 \text{ V}$ ;
- intensitatea curentului de preîncălzire:  $I_s = 4-20 \text{ kA/pr.}$
- forța de refulare:  $F_{ref} = 60-650 \text{ daN/pr}$

**Ciclogramele de sudare** (Fig. 4.4.4.) sunt asemănătoare cu cele de la sudarea în puncte. Cel mai frecvent sunt aplicate regimuri de sudare cu parametrii constanți (a.) sau cu impulsuri de curent și forță constantă (b.), dar pentru evitarea fenomenului de stropire de la începutul preîncălzirii curentul de sudare și forța de refulare cresc după atingerea temperaturii necesare (c.). La sudarea tablelor sensibile la călire, se aplică o încălzire prealabilă și o încălzire ulterioară de recoacere prin cuplarea succesivă a curentului de sudare la intensități diferite (d.).

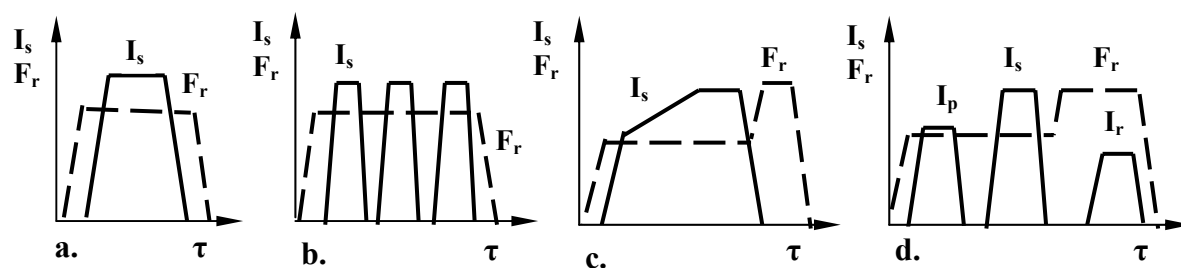


Fig. 4.4.4. Ciclograme specifice sudării în relief.

În tabelul 4.4.1. sunt prezentate o serie de date practice privind parametrii de sudare în relief a tablelor din oțeluri carbon și slab aliate cu  $C < 0,3 \%$ , pentru cazurile de sudare cu una, cu 2-3, sau cu 4 proeminențe.

Tab. 4.4.1. Parametrii de sudare în relief a tablelor de oțeluri carbon și slab aliate.

s (mm)	d (mm)	1 proeminență			2-4 proeminențe			4 proeminențe		
		$I_s$ (kA)	$F_r$ (daN)	$\tau_s$ (s)	$I_s$ (kA)	$F_r$ (daN)	$\tau_s$ (s)	$I_s$ (kA)	$F_r$ (daN)	$\tau_s$ (s)
0,5	0,6-1,8	4,4	60	0,08	3,8	60	0,10	2,9	40	0,10
0,7	0,9-2,0	6,6	100	0,10	5,1	60	0,10	3,8	50	0,12
1,0	1,2-2,8	8,0	150	0,16	6,0	95	0,18	4,3	70	0,32
1,5	1,4-3,8	10,2	230	0,26	7,6	165	0,30	5,3	150	0,48
2,0	1,5-4,6	12,0	500	0,40	8,9	240	0,60	6,5	210	0,86
3,0	1,6-6,8	14,5	650	1,20	11,0	430	1,50	9,0	400	2,40

Sudarea în relief poate fi realizată în linie, prin presiune între bacuri, sau cu role, obținând cusături circulare sau în linie dreaptă. În acest scop, pe tabla superioară se realizează prin deformare plastică la rece (prin ambutisare sau rulare), ieșituri sub formă de creastă, care după preîncălzire prin rezistență electrică și refulare de asemenea reîntră la nivelul tablelor.

În figura 4.4.5. este redat principiul sudării în relief, în linie cu role de cupru, a benzilor și marginilor de table cu grosimea de  $s < 2 \text{ mm.}$ , metodă mult folosită la sudarea radiatoarelor și schimbătoarelor de căldură. Principalii parametrii de sudare sunt:

- curentul de sudare:  $I_s = 20-70 \text{ kA}$ ;
- forța de refulare:  $F_r = 80-200 \text{ daN}$ ;
- viteza de sudare:  $v_s = 20-50 \text{ m/h.}$

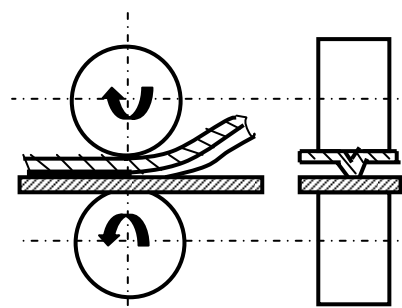


Fig. 4.4.5. Sudarea în relief, în linie cu role de Cu



#### 4.5. SUDAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ ÎNMAGAZINATĂ.

Sudarea cu energie înmagazinată este o variantă a sudării în stare solidă în puncte prin presiune și rezistență electrică, la care curentul de sudare se obține dintr-o baterie de condensatori încărcăți în prealabil cu un curent continuu, care după strângerea tablelor între electrozii de contact se descarcă prin transformatorul de sudare, realizând un punct sudat prin topire intermediară cu regim foarte dur. Schema de principiu a aparatului de sudare cu energie înmagazinată în baterie de condensatori este prezentată în figura 4.5.1.

Redresorul de curent cu diode de Si este alimentat de la rețeaua monofazică de 220V, livrând un curent continuu de încărcare cu tensiune și intensitate reduse, care în prima fază se înmagazinează într-o baterie de condensatori electrolitici C cu capacitate foarte mare. Parametrii de încărcare sunt următorii:

$$\begin{aligned} I_{inc.} &= 5-10 \text{ A}; & U_{inc.} &= 50-150 \text{ V}; \\ C &= (50-100) \cdot 10^3 \mu\text{F}; & \tau_{inc.} &= 1-5 \text{ min.} \end{aligned}$$

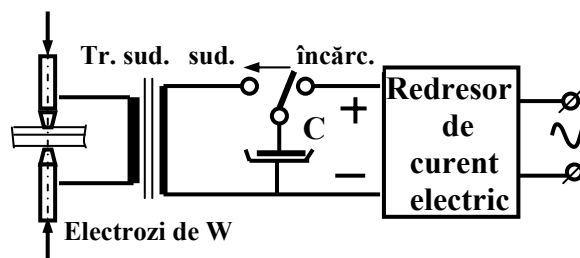


Fig. 4.5.1. Schema de principiu a aparatului de sudare cu energie electrică înmagazinată.

Trecând comutatorul în poziția de sudare, bateria se descarcă prin transformatorul de sudare și electrozii de contact, iar sudarea se produce cu un regim foarte dur, la următorii parametrii:

$$I_s = 50-200 \text{ kA}; \quad U_s = 3-10 \text{ kV}; \quad \tau_s = 0,02-0,002 \text{ s.}$$

Cantitatea de energie electrică înmagazinată în bateria de condensatori este de  $W = C \cdot U^2 / 2$ , fiind de 500-1600 Ws. Pentru evitarea topirii vârfului electrozilor de contact datorită regimului foarte intens de sudare, acestea sunt confecționați din wolfram.

Sudarea în puncte cu energie înmagazinată se aplică tablelor cu grosimea cuprinsă între limitele de  $s = 0,1-2 \text{ mm}$ , în special pentru metale și aliaje cu conductibilitate termică mare: aluminiu și aliajele lui (AlMg, AlMn, duraluminiu), cuprul și aliajele de Cu (alame, bronzuri). Metoda prezintă o serie de avantaje față de varianta clasică de sudare în puncte prin presiune și rezistență electrică:

- productivitate și randament mai mare (cu 50%);
- consum mic și uniform de energie electrică;
- nu necesită răcirea electrozilor și atmosfere protectoare.

Sudarea cu energie înmagazinată se aplică mult pentru sudarea de bolțuri, știfturi, șuruburi, prezoane, sârme, bare etc. pe suprafețe plane de tablă, profile laminate sau îndoite, țevi etc. Bolțul este fixat în mandrina unui pistol de sudare, descărcarea bateriei de condensatori realizându-se prin suprafața de contact dintre bolț și suprafața tablei (Fig. 4.5.2.)

Diametrul bolțurilor poate fi  $d_b = 3-19 \text{ mm}$ , lungimea lor de  $l_b = 6-170 \text{ mm}$ , curentul de sudare  $I_s = 600-1500 \text{ A}$ , iar productivitatea este de 15-25 de suduri/min. la oțeluri carbon, aliate sau inoxidabile. Bolțurile au talpa de sudare mai lată, cu suprafață conică, emisferică sau cu un cep, care se topește în momentul descărcării curentului și este expulzat în momentul îmbinării prin presiune (Fig. 4.5.3.).

Aspectul unui aparat de sudare a bolțurilor cu energie electrică înmagazinată este prezentat în figura 4.5.4.

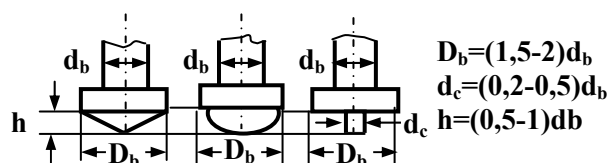


Fig. 4.5.3. Formele suprafețelor de îmbinare a bolțurilor.

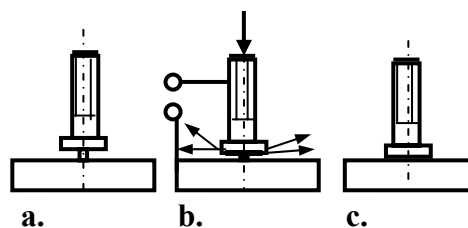


Fig. 4.5.2. Fazele sudării bolțurilor cu energie înmagazinată.



Fig. 4.5.4. Aparatul de sudat bolțuri.