TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

- Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică
- Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Prelucrarea metalelor şi aliajelor prin deformare plastică, se bazează pe capacitatea acestora ca în stare solidă (la cald sau la rece) şi sub acţiunea unor forţe exterioare, exercitate quasistatic sau dinamic (cu şoc), să capete modificări permanente de formă, cu păstrarea integrităţii.

Metoda, în mod succint, se poate caracteriza prin următoarele particularităţi:

- *avantaje:* metalul deformat capătă proprietăţi mecanice îmbunătăţite datorită structurii mai dense şi mai omogene; consumul minim de material pe bucată; precizie mare de prelucrare (mai ales la rece); posibilitate de obţinere a unor piese de formă complexă printr-un număr redus de operaţii şi manoperă simplă.
- *dezavantaje:* investiţiile iniţiale sunt mari; necesitatea unor forţe în general mari pentru deformare, a unor utilaje robuste.

Faţă de avantaje, metoda are largă aplicabilitate în construcţia de maşini, apreciindu-se că circa 60% din piesele întrebuinţate în diferite ramuri industriale sunt prelucrate prin deformare plastică.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

În baza studiilor teoretice şi experimentale pe o gamă largă de materiale, s-a ajuns la concluzia că acestea se comportă în procesul deformării plastice după anumite legi, dintre care mai importante amintim: legea volumului constant; legea simultaneităţii deformaţiilor elastice şi plastice; legea minimei rezistenţe; legea apariţiei şi echilibrării tensiunilor interioare suplimentare; legea similitudinii la deformarea plastică.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea volumului constant

Dacă se face abstracţie de micile variaţii de volum (prin comprimare elastică, defecte interne etc.) sau pierderi de oxizi, se poate considera că deformarea are loc la volum constant.

Considerând astfel un corp metalic rectangular de dimensiuni iniţiale x_0, y_0, z_0, deformat pe direcţia z, ajuns la dimensiunile x, y, z, *Figura 4.11*, atunci se poate scrie:

$$V = x_0 y_0 z_0 = xyz = ct. \qquad (4.16)$$

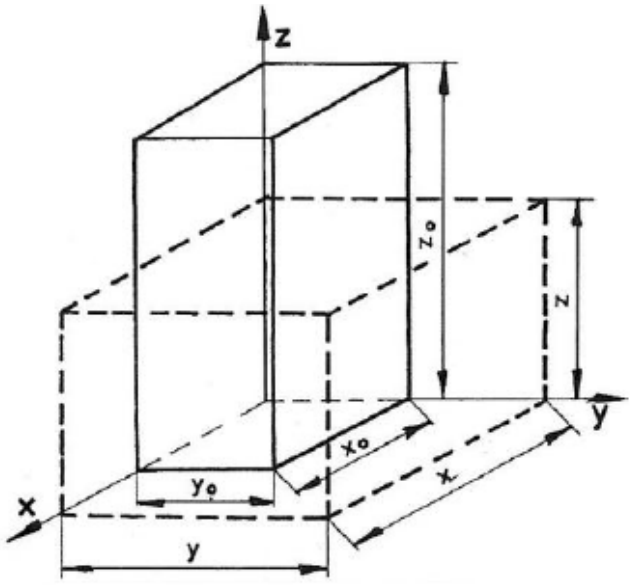


Figura 4.11. Schema refulării unui corp rectangular pe direcţia axei z.

sau:

$$\frac{xyz}{x_0 y_0 z_0} = 1,$$

de unde prin logaritmare rezultă:

$$ln\frac{x}{x_0} + ln\frac{y}{y_0} + ln\frac{z}{z_0} = 0 \qquad (4.17)$$

şi dacă se fac notaţiile:

$$\delta_x = ln\frac{x}{x_0};\ \delta_y = ln\frac{y}{y_0};\ \delta_z = ln\frac{z}{z_0},$$

notaţii care semnifică gradele logaritmice sau raţionale de deformare cu direcţia, expresia legii volumului constant devine:

$$\delta_x + \delta_y + \delta_z = 0 \qquad (4.18)$$

În baza relaţiei (4.18) enunţul legii volumului constant la deformare plastică reclamă deci ca *suma algebrică a gradelor*

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea volumului constant

de deformare pe cele trei direcţii trebuie să se păstreze nulă în proces. Adică un grad de deformare pe o direcţie, dacă are semn diferit de celelalte două, atunci în valoare absolută este egal cu suma valorilor absolute ale celorlalte două grade de deformare, de semn opus.

Legea se poate interpreta şi prin intermediul gradelor relative liniare de deformare, când conform *Figurii 4.11*, acestea se pot exprima sub forma:

$$\varepsilon_{x_0} = \frac{x_0 - x}{x_0} = \frac{\Delta x}{x_0};\ \varepsilon_x = \frac{x - x_0}{x} = \frac{\Delta x}{x};$$

$$\varepsilon_{y_0} = \frac{y_0 - y}{y_0} = \frac{\Delta y}{y_0};\ \varepsilon_y = \frac{y - y_0}{y} = \frac{\Delta y}{y};$$

$$\varepsilon_{z_0} = \frac{z_0 - z}{z_0} = \frac{\Delta z}{z_0};\ \varepsilon_z = \frac{z - z_0}{z} = \frac{\Delta z}{z},$$

unde ε_{x_0}, ε_{y_0}, ε_{z_0} sunt gradele de deformare de ordinul întâi, iar ε_x, ε_y, ε_z sunt gradele de deformare de ordinul al doilea.

Dar cum:

$$\delta_x = \int_{x_0}^{x} \frac{dx}{x_0} = \frac{\Delta x}{x_0};\quad \delta_y = \int_{y_0}^{y} \frac{dy}{y_0} = \frac{\Delta y}{y_0};\quad \delta_z = \int_{z_0}^{z} \frac{dz}{z_0} = \frac{\Delta z}{z_0}, \tag{4.19}$$

rezultă că:

$$\delta_x + \delta_y + \delta_z = 0;\quad \varepsilon_{x_0} + \varepsilon_{y_0} + \varepsilon_{z_0} = 0;\quad \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0. \tag{4.20}$$

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea volumului constant

Dacă toate cele trei grade de deformare au valori diferite de zero, înseamnă că deformarea s-a produs spaţial, şi prin urmare dacă un grad este nul, deformarea s-a produs în plan, iar dacă două grade sunt nule, deformarea s-a produs unidimensional.

Dacă prima ecuaţie din sistemul (4.20) se înmulţeşte cu volumul V:

$$V \cdot \delta_x + V \cdot \delta_y + V \cdot \delta_z = 0 \,, \qquad (4.21)$$

atunci legea volumului constant spune că şi suma algebrică a deplasărilor de volum pe cele trei direcţii trebuie să fie nulă în proces.

Această lege stă la baza determinării necesarului de semifabricat pentru obţinerea unui produs prin procedeele prelucrării prin deformare plastică.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea prezenţei deformaţiilor elastice în timpul deformării plastice

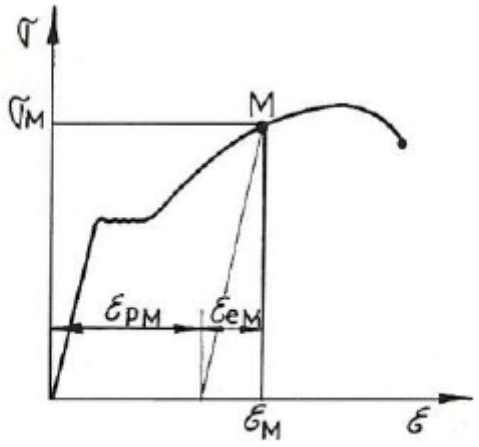


Figura 4.12. Curba elasto-plastică (σ-ε).

Această lege arată că întotdeauna o deformaţie plastică ε_p este însoţită şi de o deformaţie elastică ε_e şi prin urmare, deformaţia totală ε va fi mereu suma celor două tipuri de deformaţii, *Figura 4.12*:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p , \qquad (4.22)$$

După îndepărtarea acţiunii forţelor exterioare, deformaţia elastică dispare şi rămâne numai cota parte de deformare plastică (ε_P).

De efectul acestei legi, se ţine cont mai ales în prelucrările prin deformare plastică la rece, când şi deformarea elastică este mare şi prin urmare, şi revenirea elastică este mare şi deci nu se poate precizie, fără a compensa şi acest efect.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

Legea minimei rezistenţe a fost observată iniţial la deformarea plastică prin refulare şi a fost introdusă în teoria deformaţiei de către H. TRESCA în 1895. Această lege stă la baza determinării direcţiei, sensului şi intensităţii deplasării particulelor semifabricatelor supuse deformării plastice şi, în timp, a primit mai multe definiţii:

S. I. GUBKIN: *în situaţia în care punctele materiale ale unui semifabricat supus deformării se pot deplasa în diferite direcţii, fiecare dintre acestea se va deplasa în direcţia în care întâmpină cea mai mică rezistenţă;*

S. SOOBE: *orice formă a secţiunii transversale a unui semifabricat prismatic deformat plastic prin refulare şi în prezenţa frecării pe suprafaţa de contact tinde a se transforma într-o secţiune, căreia îi corespunde pentru o suprafaţă dată un perimetru minim, respectiv tinde către o secţiune de formă circulară;*

A. F. GOLOVIN: *deplasarea oricărui punct de pe suprafaţa de contact a unui semifabricat supus deformării, are loc în direcţia celei mai scurte normale la perimetrul secţiunii.*

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

Explicitarea cantitativă a legii minimei rezistenţe utilizează o formă analitică a legii volumului constant. De exemplu, la deformarea unui semifabricat de formă paralelipipedică cu dimensiunile iniţiale l_0, b_0, h_0 şi finale $l_1 > l_0, b_1 > b_0, h_1 < h_0$, legea volumului constant se scrie:

$$l_0 \cdot b_0 \cdot h_0 = l_1 \cdot b_1 \cdot h_1$$

sau

$$\lambda \cdot \beta = \eta \qquad (4.23)$$

în care: $\lambda = \frac{l_1}{l_0}$; $\beta = \frac{b_1}{b_0}$ şi $\eta = \frac{h_0}{h_1}$ sunt coeficienţi de alungire, lăţire respectiv reducere.

La deformarea plană, mărimea deformaţiei pe o direcţie este egală şi de semn contrar cu deformaţia de pe cealaltă direcţie. La deformarea spaţială, de exemplu la refularea unui semifabricat paralelipipedic, cu o valoare cunoscută a reducerii η se poate determina doar produsul deformaţiilor pe lungime şi lăţime $\lambda \cdot \beta$.

Pentru determinarea valorilor coeficienţilor λ şi β mai este necesară o condiţie suplimentară. Dacă aceasta ar fi lipsa frecării pe suprafeţele de contact metal-sculă s-ar produce aşa numita *curgere radială*. În cazul unei frecări mari se produce *curgerea laterală*, iar în cazul frecării medii, *curgerea reală*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

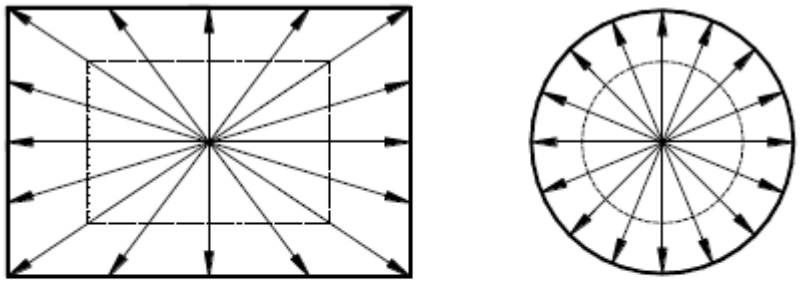
Legea minimei rezistenţe

La curgerea radială, forma secţiunii transversale a corpului nu se modifică în cursul deformării, *Figura 4.13(a)*, raportul laturilor secţiunii se păstrează constant rezultând:

$$\lambda = \beta \tag{4.24}$$

Prin rezolvarea sistemului format din condiţiile (4.23) şi (4.24) rezultă:

$$\lambda = \beta = \sqrt{\eta} \tag{4.25}$$



(a) (b)

Figura 4.13. Reprezentarea deformării în cazul curgerii radiale:
(a) – semifabricat sub formă de paralelipiped dreptunghic;
(b) – semifabricat cilindric.

Curgerea radială se întâlneşte şi în condiţiile reale în cazul refulării unui semifabricat cilindric, *Figura 4.13(b)*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

În cazul *curgerii laterale* (cu frecare mare pe suprafeţele de contact metal-sculă) a unui semifabricat prismatic cu baza de formă pătrată, dreptunghiulară sau chiar triunghiulară, direcţiile şi sensurile în care se vor deplasa punctele materiale, ţinând seama de definiţia dată de A. F. GOLOVIN legii minimei rezistenţe, vor fi diferite în funcţie de anumite zone ale secţiunii semifabricatului. Împărţirea secţiunii poligonale de bază a unui semifabricat în zone cu aceeaşi direcţie şi acelaşi sens de deplasare a punctelor materiale se realizează prin trasarea bisectoarelor unghiurilor secţiunii, *Figura 4.14*.

Astfel, *legătura calitativă* între deformaţiile pe cele două direcţii ale suprafeţelor de contact a semifabricatelor supuse deformării este practic definită. Pentru determinarea *legăturii calitative* între λ şi η şi respectiv între β şi η se consideră cazul deformării prin refulare a unui semifabricat sub formă de paralelipiped dreptunghic.

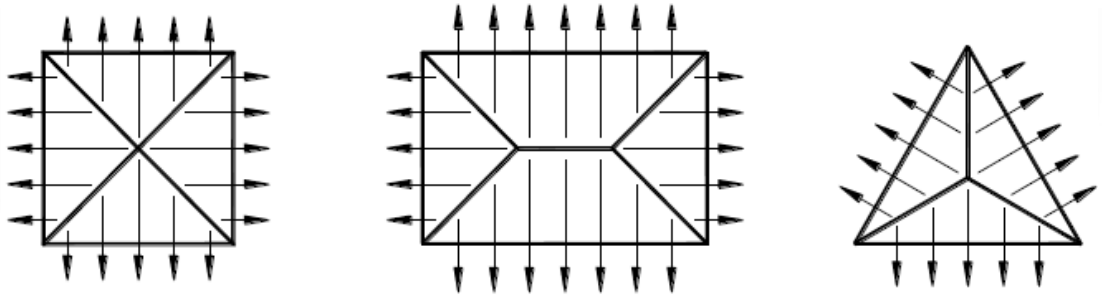


Figura 4.14. Reprezentarea deformării în cazul curgerii laterale.

Rezolvarea analitică simplificată a legii minimei rezistenţe, în acest caz, se dă pe baza raportului dintre deformările pe direcţia longitudinală şi transversală a semifabricatului considerat, *Figura 4.15*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

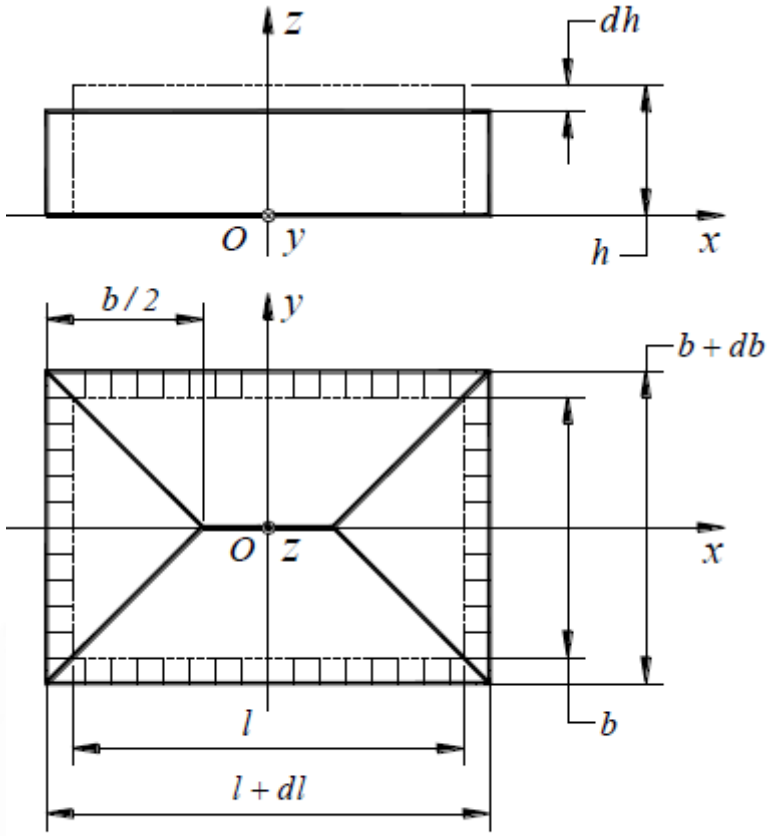


Figura 4.15. Schema deformării elementare în cazul curgerii laterale.

Volumul de material dislocat pe distanţa elementară dh corespunzător zonelor triunghiulare, pe axa Oz, este egal cu volumul de material deplasat în direcţia axei Ox, iar volumul de material dislocat corespunzător zonelor trapezoidale, pe axa Oz, este egal cu volumul de material deplasat în direcţia axei Oy.

Volumul elementar de material dislocat pe distanţa elementară dh, corespunzător zonelor triunghiulare este:

$$dV_h = -\frac{b^2}{2}dh \qquad (4.26)$$

Deplasarea de material pe direcţia reducerii se consideră *negativă*, iar pe direcţiile alungirii şi lăţirii, *pozitivă*.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

Dacă se neglijează infiniţii mici de ordin superior, volumul elementar de material deplasat pe direcţia Ox, pe distanţa elementară dh este:

$$dV_l = b \cdot h \cdot dl \tag{4.27}$$

Aplicând legea volumului constant în timpul deformării, se poate scrie:

$$dV_h = dV_l, \tag{4.28}$$

respectiv

$$-\frac{b^2}{2} dh = b \cdot h \cdot dl \tag{4.29}$$

sau după separarea variabilelor,

$$dl = -\frac{b}{2} \cdot \frac{dh}{h}. \tag{4.30}$$

În funcţie de volumul V al semifabricatului deformat, cota b a secţiunii este:

$$b = \frac{V}{l \cdot h} \tag{4.31}$$

Înlocuind relaţia (4.31) în (4.30) rezultă:

$$l \cdot dl = -\frac{V}{2} \cdot \frac{dh}{h^2} \tag{4.32}$$

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

Integrând relaţia (4.32), ţinând seama de dimensiunile iniţiale şi finale ale semifabricatului se obţine, succesiv:

$$\int_{l_0}^{l_1} l \cdot dl = -\frac{V}{2}\int_{h_0}^{h_1}\frac{dh}{h^2} \; ;$$

$$\frac{1}{2}\cdot l^2\Big|_{l_0}^{l_1} = \frac{V}{2}\cdot\frac{1}{h}\Big|_{h_0}^{h_1} \; ;$$

$$\frac{1}{2}\cdot\left(l_1^2 - l_0^2\right) = \frac{V}{2}\cdot\left(\frac{1}{h_1}-\frac{1}{h_0}\right) \text{ sau}$$

$$l_1^2 = \frac{V}{h_1} + l_0^2 - \frac{V}{h_0}. \qquad (4.33)$$

Înlocuind $V = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0$ în relaţia (4.33) se obţine:

$$l_1^2 = \frac{l_0 \cdot b_0 \cdot h_0}{h_1} + l_0^2 - \frac{l_0 \cdot b_0 \cdot h_0}{h_0} = l_0^2\left(\frac{h_0}{h_1}\cdot\frac{b_0}{l_0} + 1 - \frac{b_0}{l_0}\right) = l_0^2\left[1 + \frac{b_0}{l_0}\left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right)\right],$$

respectiv

$$\left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 = 1 + \frac{b_0}{l_0}\left(\frac{h_0}{h_1} - 1\right) \text{ sau } \lambda^2 = 1 + \frac{b_0}{l_0}(\eta - 1)$$

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

de unde se obţine coeficientul de alungire:

$$\lambda = \sqrt{1 + \frac{b_0}{l_0}(\eta - 1)} \tag{4.34}$$

Înlocuind expresia (4.34) în relaţia (4.23) se determină coeficientul de lăţire:

$$\beta = \frac{\eta}{\sqrt{1 + \frac{b_0}{l_0}(\eta - 1)}} \tag{4.35}$$

Raportul acestor coeficienţi este:

$$\frac{\lambda}{\beta} = \frac{1 + \frac{b_0}{l_0}(\eta - 1)}{\eta} \tag{4.36}$$

Sistemul format din relaţiile (4.23) şi (4.36) este compatibil determinat atunci când se cunoaşte una din deformaţiile pe axele sistemului de coordonate $Oxyz$.

Se observă că în cazul deformării prin refulare a unei prisme patrulatere regulate, adică $l_0 = b_0$, sistemul format din relaţiile (4.23) şi (4.36) conduce la acelaşi rezultat prezentat în relaţia (4.25).

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

În funcţie de valoarea coeficientului de frecare dintre scule şi semifabricat, modul de curgere a materialului metalic pe cele două direcţii ale suprafeţei de contact se va apropia mai mult sau mai puţin de cele două cazuri extreme analizate (curgerea radială şi respectiv curgerea laterală). Astfel, cu cât valoarea coeficientului de frecare este mai mică, cu atât procesul de deformare tinde către schema radială de curgere a materialului în timpul deformării şi invers, cu cât coeficientul de frecare este mai mare, cu atât procesul de deformare tinde către o curgere laterală. Rezultă deci că mărimea deformaţiilor în plan transversal nu depinde numai de valoarea reducerii aplicate şi de raportul dintre dimensiunile iniţiale ale suprafeţei de contact, ci şi de valoarea coeficientului de frecare şi izotropia sa pe această suprafaţă. Pe acest considerent sistemele formate din relaţiile (4.23) şi (4.24) şi respectiv (4.23) şi (4.36) nu dau totuşi decât o imagine calitativă a deformării pentru cazul curgerii reale.

În cazul *curgerii reale* (cu frecare medie pe suprafeţele de contact metal-sculă) se completează raţionamentul prezentat în *Figura 4.14* prin aceea că în aceeaşi zonă deplasarea punctelor materiale are loc cu intensităţi diferite, *Figura 4.16*, astfel:

- intensitatea curgerii materialului metalic într-un anumit sens este proporţională cu lungimea normalei la conturul secţiunii corespunzătoare punctului material;
- intensitatea curgerii materialului metalic este proporţională cu suprafeţele zonelor în care s-a divizat secţiunea bazei corpului.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

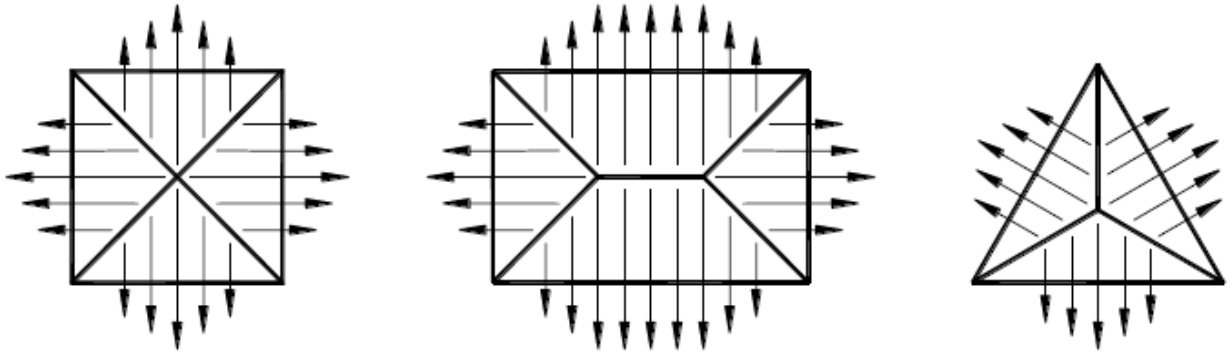


Figura 4.16. Reprezentarea deformării în cazul curgerii reale.

Pe aceste considerente, spre centrul laturilor se obţin anumite convexităţi care conduc în final spre o secţiune circulară în cazul prismei patrulatere regulate şi a celei triunghiulare regulate sau spre o secţiune eliptică şi apoi circulară în cazul paralelipipedului dreptunghic.

Pentru determinări cantitative, în cazul semifabricatului sub formă de paralelipiped dreptunghic, se folosesc relaţiile experimentale, deduse utilizând şi frecarea prin coeficientul μ, prezentate de către I. IA. TARNOVSKI:

$$\lg\lambda = \frac{\left(\frac{b_0}{l_0}\right)^{4\mu}}{1+\left(\frac{b_0}{l_0}\right)^{4\mu}} \cdot \lg\eta\,; \quad \lg\beta = \frac{1}{1+\left(\frac{b_0}{l_0}\right)^{4\mu}} \cdot \lg\eta \qquad (4.37)$$

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

În majoritatea cazurilor însă se utilizează sistemul de ecuaţii format din relaţia (4.23) şi raportul relaţiilor (4.37), astfel:

$$\begin{cases} \lambda \cdot \beta = \eta \\ \dfrac{lg\,\lambda}{lg\,\beta} = \left(\dfrac{b_0}{l_0}\right)^{4\mu} \end{cases} \qquad (4.38)$$

Pentru verificarea legii minimei rezistenţe în cazul curgerii reale, să considerăm deformarea prin refulare a unui semifabricat sub formă de paralelipiped dreptunghic de dimensiuni iniţiale l_0, b_0, h_0, căruia îi ataşăm sistemul de coordonate cartezian ortonormat $Oxyz$ cu axa Oz pe direcţia reducerii şi pe care să-l împărţim în zone cu aceeaşi direcţie şi acelaşi sens de deplasare a punctelor materiale la deformare, *Figura 4.17*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

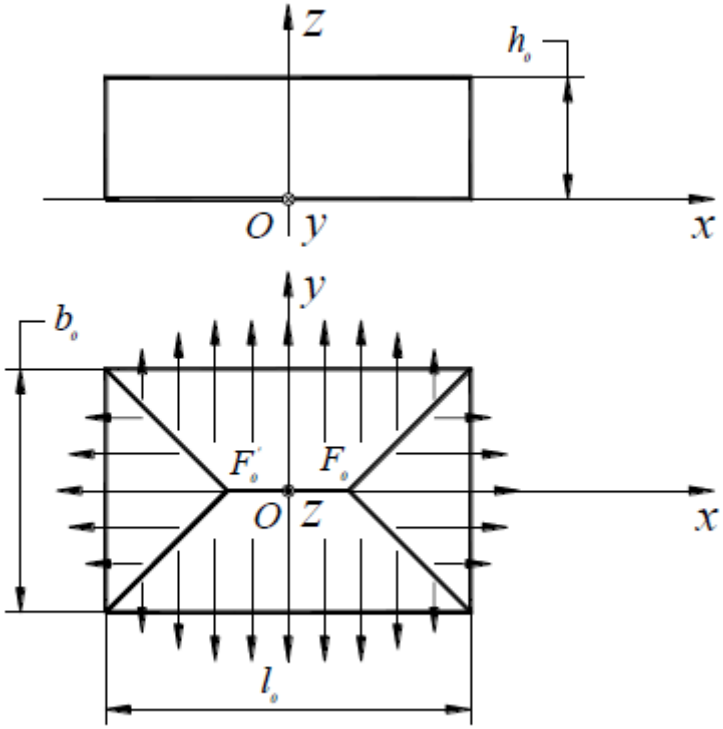


Figura 4.17. Semifabricatul iniţial.

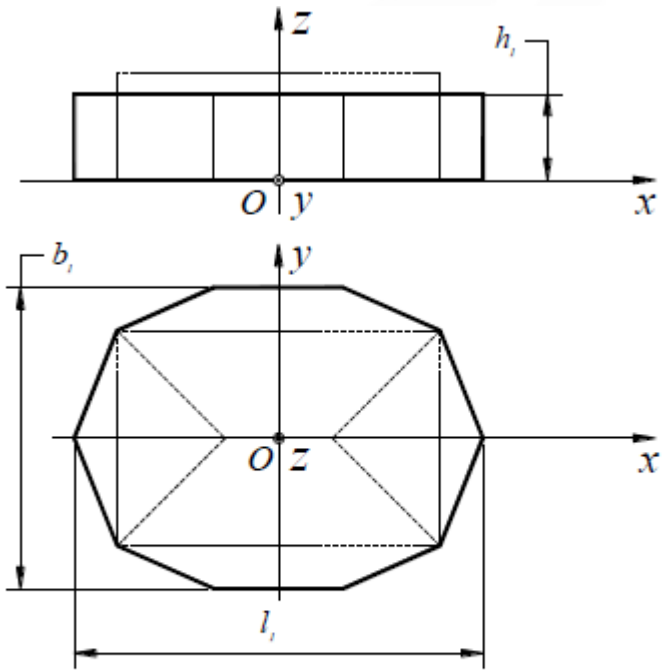


Figura 4.18. Semifabricatul deformat cu gradul de deformare ε_1 .

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

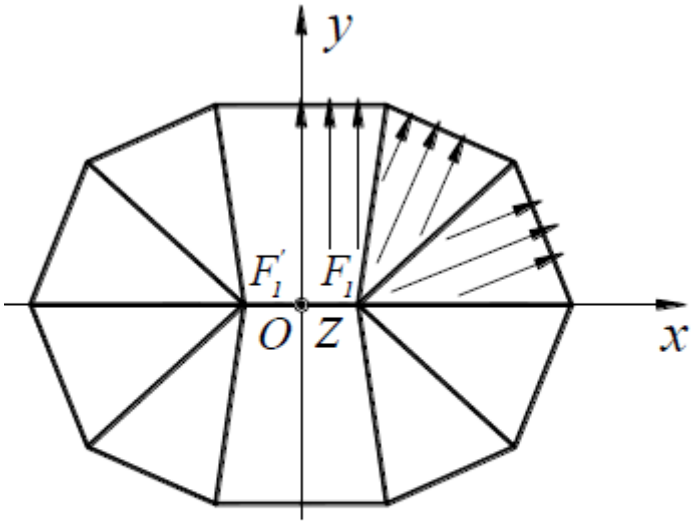


Figura 4.19. Împărţirea în zone cu aceeaşi direcţie şi sens de deplasare a punctelor materiale la deformare.

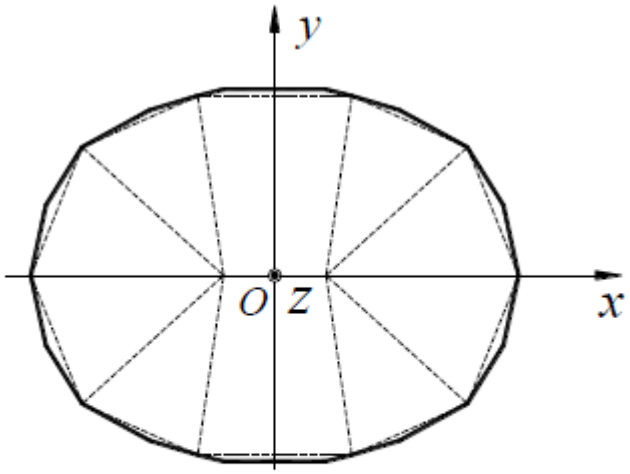


Figura 4.20. Semifabricatul deformat cu gradul de deformare ε_2 .

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

După o deformare mică, secţiunea dreptunghiulară se transformă într-un poligon cu 10 laturi, cu dimensiunile de gabarit l_1, b_1, h_1, determinate cu ajutorul sistemului (4.38), *Figura 4.18*, gradul convenţional de deformare absolut pe înălţime fiind $\varepsilon_1 = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$.

Anticiparea deformării în continuare presupune o nouă împărţire a secţiunii poligonale obţinute, după aceleaşi principii, *Figura 4.19*.

La continuarea deformării până la gradul de deformare $\varepsilon_2 = \frac{h_0 - h_2}{h_0} > \varepsilon_1$, secţiunea poligonală din *Figura 4.19* se transformă într-o secţiune poligonală cu 22 laturi, *Figura 4.20*.

Analizând evoluţia conturului secţiunii în urma celor două deformaţii mici succesive se deduce că:

- deformaţia maximă se obţine fie pe direcţia înălţimilor triunghiurilor, fie pe direcţia înălţimilor trapezelor, înălţimi corespunzătoare laturilor secţiunii poligonale;
- la fiecare deformare mică (elementară – în realitate) are loc o divizare a liniei poligonale cu formare de noi laturi şi unghiuri;

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

- datorită divizării laturilor şi a faptului că lăţirea este mai mare decât alungirea (conform relaţiilor 4.37), punctele de intersecţie ale bisectoarelor unghiurilor poligonului se deplasează spre originea sistemului de coordonate, iar zona dreptun-ghiulară centrală îşi micşorează lungimea;

- punctele materiale din vârfurile liniei poligonale care formează conturul secţiunii staţionează până ce laturile care formează un anumit vârf ajung în prelungire, se contopesc, formându-se astfel un nou triunghi care conţine fostul vârf care la o deformare ulterioară se va deplasa.

Continuând deformarea, razele vectoare corespunzătoare deplasărilor maxime, până la un anumit grad de deformare, mătură complet suprafeţele triunghiulare iniţiale divizând infinit conturul poligonal, ajungându-se la o secţiune pseudoeliptică (dreptunghi central cu semicercuri la capete), conform *Figurii 4.21*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

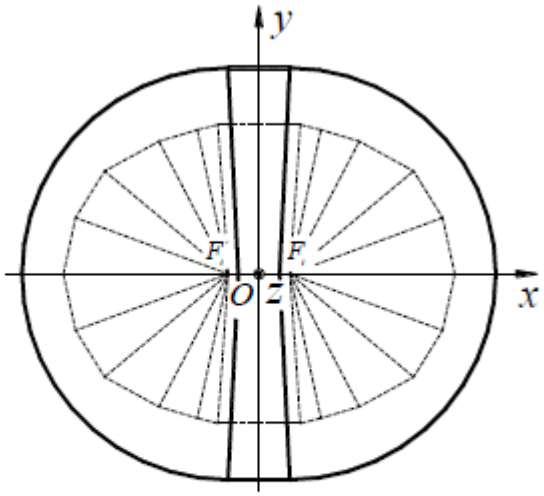


Figura 4.21. Secţiune pseudoeliptică.

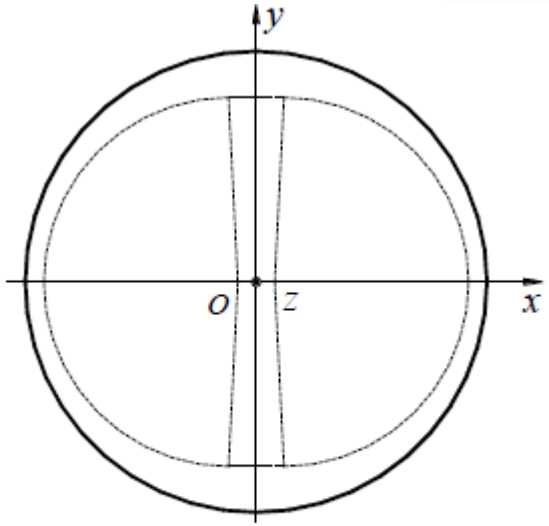


Figura 4.22. Secţiune circulară.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea minimei rezistenţe

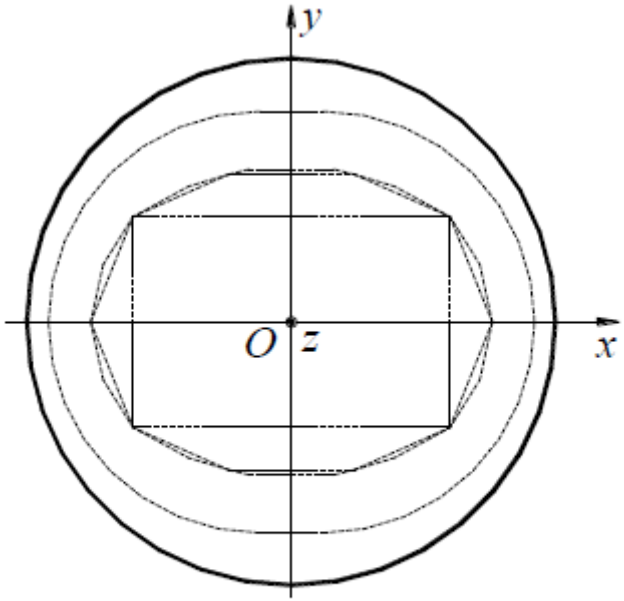


Figura 4.23. Evoluţia deformaţiei în cazul curgerii reale.

Deformând semifabricatul în continuare, la gradul de deformare corespunzător condiţiei $l_i = b_i$ în relaţia a doua a sistemului (4.38), se obţine secţiunea circulară prezentată în *Figura 4.22*, iar la deformarea ulterioară semifabricatul prezintă o curgere radială corespunzătoare *Figurii 4.13(b)*.

Evoluţia conturului secţiunii în cursul întregii deformări se observă prin suprapunerea contururilor din *Figurile 4.17, 4.18, 4.20, 4.21, 4.22*, prezentată în *Figura 4.23*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea apariţiei şi echilibrării eforturilor unitate suplimentare

În interiorul corpului supus deformării, pot să apară tensiuni suplimentare ce se opun deformării relative şi tind să se echilibreze reciproc.

Drept cauze ale acestor tensiuni se pot aminti:

- frecarea exterioară de contact dintre scule şi material;
- repartiţia neuniformă a temperaturii pe volumul semifabricatului;
- neomogenitate chimică a materialului;
- proprietăţi mecanice şi tehnologice neuniforme ale materialului;
- tendinţă de frânare a dislocaţiilor în procesul deformării.

De exemplu, în cazul tragerii şi trefilării, *Figura 4.5(c)*, în miezul materialului acesta tinde să se lungească, dar este frânat de straturile exterioare în contact cu sculele datorită frecării material-scule şi atunci, în miez vor apărea tensiuni de compresiune, iar în straturile exterioare de tracţiune, care se echilibrează reciproc, această echilibrare fiind asigurată şi de gradul de deformare corespunzător.

În toate cazurile, pentru a reduce la maximum pericolul tensiunilor interioare suplimentare, trebuie să se micşoreze substanţial frecarea material-scule, iar semifabricatul se va alege cât mai apropiat ca formă de piesa finită.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Legile deformării plastice

Legea similitudinii la deformare plastică

Pentru aceleaşi condiţii de deformare a două corpuri geometric asemenea, care au deci mărimi diferite, iar presiunile de deformare sunt egale între cele două corpuri, se poate admite că raportul forţelor de deformare este egal cu pătratul raportului mărimilor liniare (factorul de similitudine), iar raportul lucrurilor mecanice cheltuite pentru schimbarea formei este egal cu cubul raportului mărimilor liniare ale corpurilor deformate:

$$p = p_1 ;\ \frac{F}{F_1} = \left(\frac{l}{l_1}\right)^2 ;\ \frac{L}{L_1} = \left(\frac{l}{l_1}\right)^3 . \qquad (4.39)$$

Legea este valabilă în condiţiile în care ambele corpuri au aceleaşi faze structurale, aceeaşi compoziţie chimică, proprietăţi mecanice identice şi temperatura la începutul şi sfârşitul deformării identice.

Legea se aplică numai pentru forţe şi energii de deformare şi nu se verifică pentru deformaţii. De asemenea, între modelul de laborator şi semifabricatul real, mai ales pentru piese mari trebuie aduse corecţiile necesare, întrucât condiţiile riguroase ale legii în acest ultim caz sunt greu de respectat şi în timpul prelucrării pot interveni factori care să influenţeze sensibil rezultatele.

Mai precis, riscul unor defecte în corpul mare faţă de modelul din acelaşi material, precum şi pierderea temperaturii corpului mic faţă de corpul mare, sunt probleme reale de care trebuie să se ţină cont în procesele de deformare plastică a materialelor metalice.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Oxidarea. La temperaturi ridicate, în special la încălzirea în cuptoare cu flacără, unde semifabricatul vine în contact cu flacăra sau gazele arse care conţin oxigen, bioxid de carbon, vapori de apă etc. apare fenomenul de oxidare a elementelor din compoziţia chimică a oţelului la suprafaţa semifabricatului. Oxidarea este influenţată, în afară de atmosfera cuptorului, de durata încălzirii, forma şi dimensiunile semifabricatului, temperatura de încălzire (viteza de oxidare creşte intens peste 700 °C), calitatea oţelului.

Prezenţa fenomenului oxidării conduce la pierderi de material în timpul încălzirii. La încălzirea semifabricatelor de oţel în cuptoare cu flacără, pierderile de metal se ridică la 2÷3% din volumul semifabricatului. La încălzirea electrică, fiind prezent pe suprafaţa semifabricatului numai oxigenul din aer şi încălzirea având loc într-un interval mai scurt de timp, pierderile de material sunt de 0,5÷1% din volumul semifabricatului.

Decarburarea oţelului. Pe lângă oxidare, la temperaturi ridicate are loc şi decarburarea oţelului care constă în micşorarea conţinutului de carbon la suprafaţa semifabricatului datorită reacţiilor dintre acesta şi gazele din atmosfera cuptorului. Decarburarea ca şi oxidarea este cu atât mai intensă cu cât durata de încălzire şi menţinere la temperaturi ridicate este mai mare şi atmosfera cuptorului mai oxidantă. Reducerea conţinutului de carbon la suprafaţa semifabricatului conduce la anizotropia proprietăţilor pe secţiunea piesei. Se reduce în mod simţitor rezistenţa la oboseală. În unele cazuri este necesară înlăturarea prin aşchiere a stratului decarburat.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Prin încălzirea semifabricatelor metalice pentru deformare plastică, se caută atingerea următoarelor deziderate: reducerea limitei de curgere a metalului; obţinerea unei stări structurale optime pentru deformare; reducerea impurităţilor intergranulare prin difuzie intragranulară; reducerea tensiunilor interne şi omogenizarea structurii.

Creşterea temperaturii semifabricatelor introduse în cuptor este însoţită de o serie de fenomene nedorite, care pentru cazul oţelurilor sunt: posibilitatea apariţiei fisurilor, oxidarea, decarburarea şi supraîncălzirea.

Apariţia fisurilor. În cursul încălzirii, straturile exterioare ale semifabricatului se încălzesc mai repede decât cele de la interior. Această neuniformitate a temperaturii pe secţiunea semifabricatului conduce la apariţia tensiunilor interne datorate dilatării neuniforme a materialului semifabricatului. La diferenţe mari de temperatură între suprafaţă şi miez, tensiunile termice pot atinge valori atât de mari, încât să depăşească rezistenţa de rupere a materialului încălzit şi să producă *fisuri interioare*.

Pentru prevenirea apariţiei fisurilor, se menţine o diferenţă de temperatură mică între suprafaţa semifabricatului şi miez prin limitarea vitezei de încălzire, în prima perioadă a procesului de încălzire când materialul are o plasticitate redusă.

Pentru întreaga gamă de oţeluri carbon şi aliate forjabile, temperatura maximă până la care pot să apară fisurile, $\theta_{f_{max}}$, este cuprinsă între limitele 550÷800°C, limita inferioară fiind proprie oţelurilor carbon, iar limita superioară oţelurilor bogat aliate. Peste temperatura $\theta_{f_{max}}$, viteza de încălzire a semifabricatului poate fi mărită datorită creşterii plasticităţii acestuia, tensiunile termice producând deformarea materialului şi nu fisurarea acestuia.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Pentru micşorarea pierderilor de material prin oxidare şi grosimii stratului decarburat, fie se utilizează cuptoare cu atmosferă controlată, fie se acoperă suprafaţa semifabricatului cu un strat protector (cuprare).

Supraîncălzirea. Pentru a-şi micşora energia internă, la temperaturi ridicate, există tendinţa ca grăunţii policristalului să crească. Astfel, datorită încălzirii, grăunţii existenţi înaintea deformării vor fi cu atât mai mari cu cât temperatura va fi mai ridicată. Supraîncălzirea constă în creşterea rapidă a grăunţilor cristalini datorită încălzirii sau menţinerii îndelungate a semifabricatului la o temperatură ce depăşeşte limita superioară a temperaturii de început de deformare şi conduce la reducerea proprietăţilor mecanice ale metalului sau aliajului semifabricatului.

Stabilirea regimului termic presupune determinarea domeniului de temperatură optim la care se poate face deformarea unui material în bune condiţii. Domeniul de temperatură este specific fiecărui material, fiind condiţionat de mărimea gradului de deformare ce poate fi realizat cu păstrarea integrităţii materialului şi de obţinerea unei structuri impuse după deformare.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

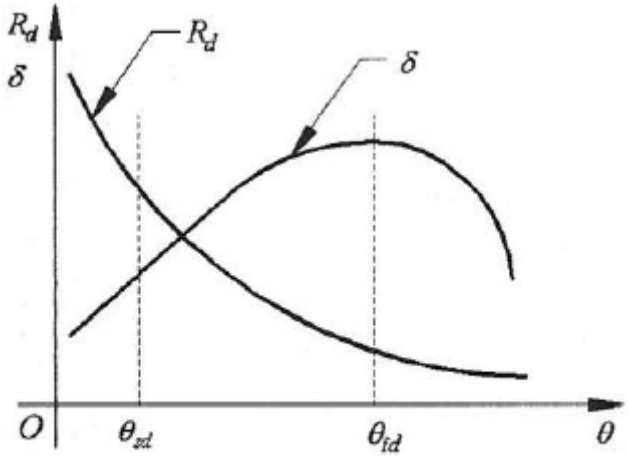


Figura 4.24. Variaţia rezistenţei la deformare şi a plasticităţii cu temperatura.

Domeniul de temperatură se stabileşte astfel încât rezistenţa la deformare să fie mică şi plasticitatea ridicată. Variaţia rezistenţei la deformare R_d şi a plasticităţii δ cu temperatura θ, pentru majoritatea materialelor metalice se prezintă în *Figura 4.24*.

Rezistenţa la deformare scade cu temperatura, iar plasticitatea prezintă un punct de maxim. Scăderea plasticităţii la temperaturi mari are loc datorită creşterii excesive a grăunţilor şi a declanşării procesului de topire la limitele intercristaline.

Temperatura critică la care aceste fenomene încep să se producă intens se află cu 150÷300°C sub linia solidus în funcţie de material. Se deduce că temperatura de început de deformare θ_{id} (limita superioară) corespunde punctului de maxim al plasticităţii.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Temperatura minimă admisă pentru deformare – temperatura de sfârşit de deformare θ_{sd} – este limitată de gradul de deformare ce se poate realiza la acea temperatură şi de structura ce se urmăreşte să se obţină după deformare – complet sau incomplet recristalizată.

Ţinând seama de condiţiile prezentate şi de faptul că, în general, se urmăreşte evitarea domeniului de temperaturi la care materialul metalic prezintă mai multe faze, orientativ, în *Figura 4.25* se dau domeniile de temperatură pentru diverse metale şi aliaje, iar pentru oţelurile carbon, domeniul de temperatură optim pentru forjare la cald este reprezentat prin domeniul haşurat pe diagrama Fe-Fe_3C din *Figura 4.26*.

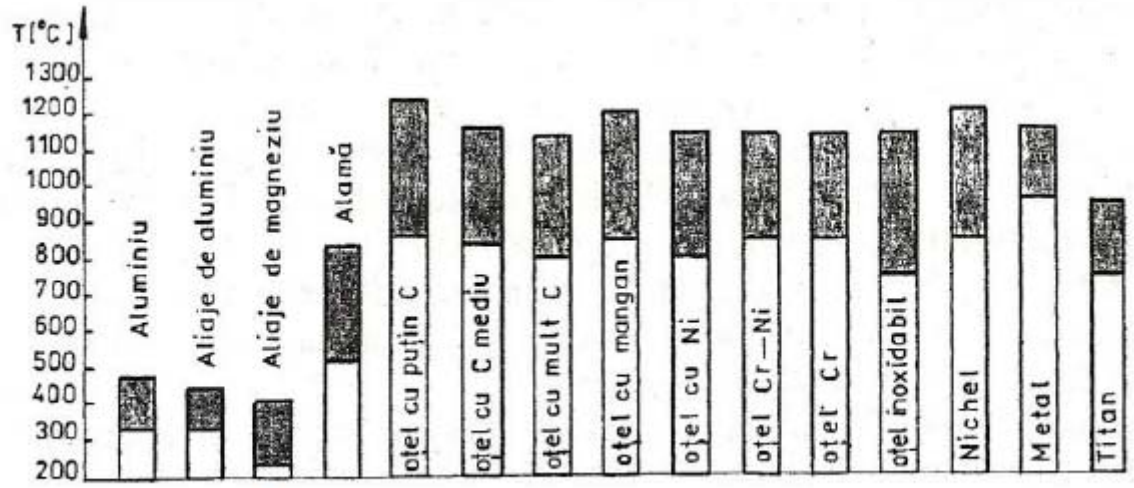


Figura 4.25. Domeniul temperaturilor de încălzire şi deformare pentru diferite aliaje.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Viteza de încălzire depinde de tipul utilajului folosit, de diferenţa dintre temperatura mediului cuptorului şi cea a semifabricatului, de proprietăţile fizice ale materialului supus încălzirii (conductivitate termică, dilatare), de forma şi dimensiunile semifabricatului şi de modul de aşezare a pieselor pe vatra cuptorului.

Din raţiuni economice este de dorit ca viteza de încălzire să fie cât mai mare, însă ea este limitată de pericolul apariţiei fisurilor în materialul supus încălzirii, ca urmare a dilatării diferite a straturilor de material pe direcţia gradientului termic. Pentru satisfacerea ambelor cerinţe se folosesc, acolo unde este posibil, acele procedee de încălzire care asigură producerea căldurii în masa semifabricatului (încălzirea prin inducţie sau prin rezistenţă de contact). Dacă acest lucru nu este posibil (semifabricate mari sau dotare tehnică) se va face o preîncălzire a materialului astfel încât viteza de încălzire să nu depăşească valoarea critică.

Din punct de vedere termic în procesul de deformare plastică se disting trei stadii, *Figura 4.27.*

- Stadiul încălzirii semifabricatului de la temperatura mediului ambiant θ_0 la temperatura de început de deformare θ_{id}, corespunzător duratei τ_i, care cuprinde trei etape:
  - preîncălzirea până la atingerea temperaturii $\theta_{f_{max}}$, pe durata τ_{pi};
  - încălzirea propriu-zisă la temperatura θ_{id}, pe durata τ_{ip};
  - menţinerea la temperatura de început de deformare pentru încălzirea miezului semifabricatului, pe durata τ_{im}.

- Stadiul deformării propriu-zise când temperatura scade de la valoarea θ_{id} la temperatura de sfârşit de deformare θ_{sd}, corespunzător duratei τ_d.

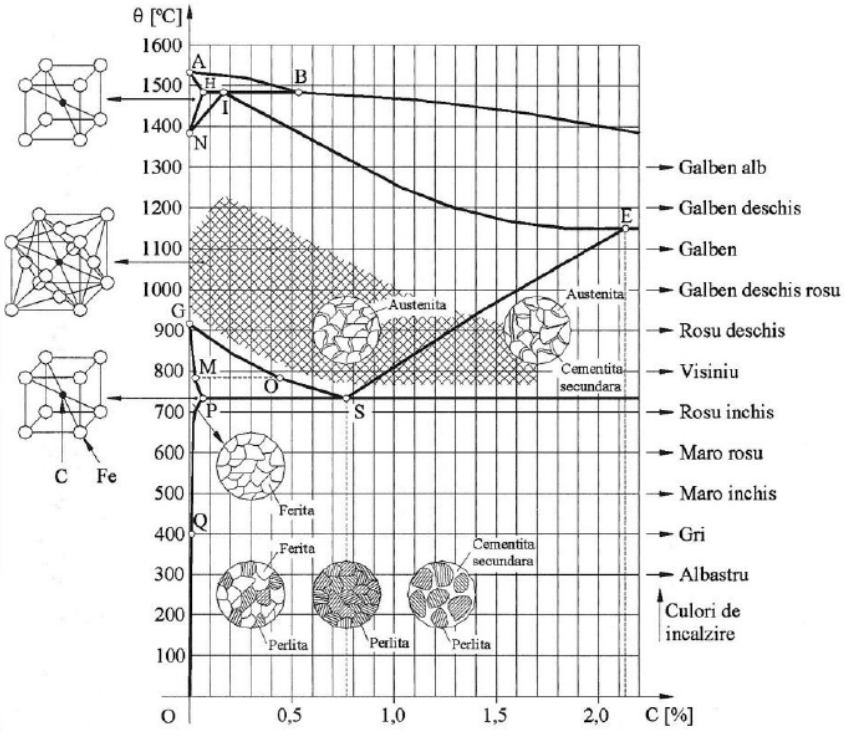


Figura 4.26. Domeniul de temperatură optim pentru forjarea oţelurilor carbon, reprezentat prin zona haşurată.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

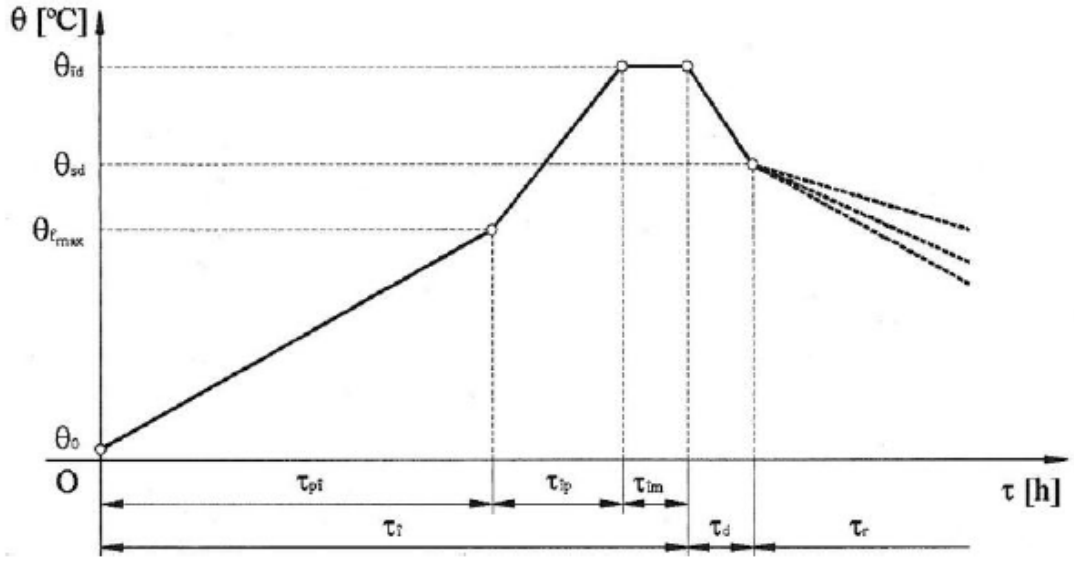


Figura 4.27. Diagrama de încălzire-răcire la deformarea plastică a materialelor forjabile.

Semifabricatele sunt supuse deformării propriu-zise în mod intermitent. În intervalele în care semifabricatele sunt deformate, din lucrul mecanic cheltuit pentru deformare aproximativ 10% se acumulează în reţeaua cristalină a metalului şi 90% se transformă în căldură, care contribuie la ridicarea temperaturii semifabricatului. Pe de altă parte, datorită diferenţei de temperatură dintre semifabricat şi mediul exterior, acesta va pierde căldură în timpul deformării, micşorându-i-se temperatura. Astfel, în funcţie de viteza de deformare se poate ajunge la deformarea izotermă sau chiar politropă, situaţii de care trebuie ţinut seama la stabilirea domeniului de temperatură optim forjării.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Cunoaşterea duratei de răcire pe intervalul de temperatură ales pentru deformare, permite stabilirea numărului de faze posibile de realizat în acest interval, respectiv numărul de încălziri necesar pentru deformarea pieselor complexe, care necesită un număr mare de faze de deformare.

- Stadiul de răcire până la temperatura ambiantă θ_0, corespunzător duratei τ_r.

Viteza de răcire de după deformare depinde de structura impusă care determină mediul de răcire. Astfel, răcirea se poate face în aer, în medii termorigide (zgură granulată, nisip, vată de sticlă etc.) sau în cuptor. Se evită răcirea bruscă pentru prevenirea apariţiei *fisurilor exterioare*. Măsuri speciale se iau în cazul anumitor tipuri de oţeluri (cu Cr, Ni şi Mo), susceptibile de a forma *fulgi*.

Determinarea duratei de încălzire τ_i, se poate face atât analitic, cât şi experimental.

Analitic, se pot aplica relaţiile:

- pentru piese mici, cu grosimi sub 75 mm,

$$\tau_i = \frac{m \cdot c}{\alpha_{tot} \cdot A} ln \frac{\theta_c - \theta_0}{\theta_c - \theta_{id}} \ [h]; \qquad (4.40)$$

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

- pentru piese mari cu dimensiunea principală (grosimea) mai mare de 75 mm,

$$\tau_i = \frac{m \cdot c}{K \cdot \alpha_{tot} \cdot A} ln \frac{\theta_c - \theta_0}{\theta_c - \theta_{id}} \; [h], \qquad (4.41)$$

în care: α_{tot} este coeficientul total de cedare a căldurii de la cuptor la piesă, în $J / m^2 \cdot h \cdot grd$, conform *Tabelului 4.1*;

m – masa semifabricatului, în kg;

c – căldura specifică, în $J / m^2 \cdot grd$;

A – aria semifabricatului, în mm^2;

θ_c – temperatura cuptorului, în K;

θ_0 – temperatura iniţială a semifabricatului, în K;

θ_{id} – temperatura finală a semifabricatului, în K;

K – constantă de material (K=0,35÷1).

Stabilirea analitică a duratei de încălzire-răcire este laborioasă datorită faptului că în acest timp variază foarte mulţi factori: temperatura semifabricatului; temperatura cuptorului; căldura specifică; coeficientul de transmitere a căldurii etc. În literatura de specialitate sunt prezentate relaţii stabilite pe ipoteze teoretice simplificate sau pe baze experimentale.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Tabelul 4.1. Coeficientul total de cedare a căldurii de la cuptor la piesă, α_{tot}.

Temperatura cuptorului, în K	Temperatura metalului încălzit, în K	α_{tot}, în $J/m^2 \cdot h \cdot grd$
1600	0	250 + 95 K*
	1100	450 + 270 K*
	1273	550 + 375 K*
	1473	670 + 510 K*
1423	0	180 + 70 K*
	873	290 + 160 K*
	1100	360 + 225 K*
	1273	440 + 320 K*
1223	0	125 + 45 K*
	673	180 + 90 K*
	873	225 + 135 K*
	1000	285 + 195 K*
1023	0	85 + 35 K*
	473	100 + 45 K*
	673	130 + 65 K*
	873	160 + 105 K*
823	0	55 + 20 K*
	473	70 + 30 K*
	673	90 + 45 K*

unde $K^* = \frac{A_{em}(aria\ libera\ exterioara\ a\ metalului\ incalzit)}{A_{pr}(aria\ peretilor\ care\ radiaza)}$.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Pentru determinarea rapidă a duratei încălzirii oţelurilor în cuptoarele cu vatră, în practică se utilizează frecvent relaţia experimentală stabilită de N. D. DOBROHOTOV:

$$\tau_i = k_m \cdot k_a \cdot d^{\frac{3}{2}} \text{ [h]} \qquad (4.42)$$

în care: k_m este un coeficient care depinde de masa semifabricatului şi de tipul de oţel. În general, $k_m = 10 \div 20$ (valorile minime se aleg în cazul semifabricatelor laminate şi forjate din oţeluri carbon sau slab aliate cu masa până la 2500 kg, iar cele maxime pentru oţeluri aliate şi piese cu masa peste 2500 kg – $\rho_{otel} = 7800$ kg/m^3);

k_a – un coeficient care depinde de modul de aşezare a semifabricatelor pe vatra cuptorului. Valorile acestui coeficient sunt prezentate în *Tabelul 4.2*;

d – diametrul sau grosimea semifabricatului, în m.

Pentru toate materialele metalice se recomandă o preîncălzire lentă utilizând relaţia:

$$\tau_{pi} = \frac{2}{3} \cdot \tau_i \text{ [h].} \qquad (4.43)$$

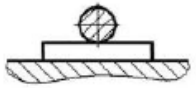
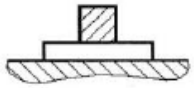
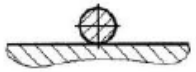
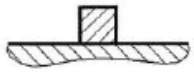
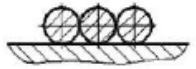
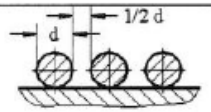
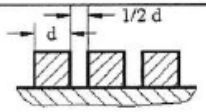
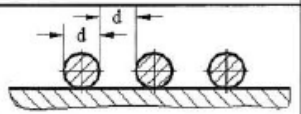
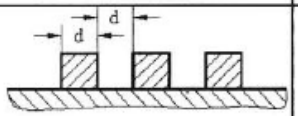
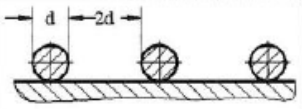
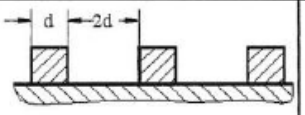
PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Tabelul 4.2. Valorile coeficientului k_a.

Modul de aşezare	Semifabricate cu secţiune transversală circulară		Semifabricate cu secţiune transversală pătrată	
	Schema de aşezare	k_a	Schema de aşezare	k_a
Singulare pe suport		1,0		1,0
Singulare pe vatră		1,0		1,4
Grup compact pe vatră		2,0		4,0
Grup la $\frac{1}{2}\cdot d$ pe vatră		1,4		2,2
Grup la $1\cdot d$ pe vatră		1,35		2,0
Grup la $2\cdot d$ pe vatră		1,3		1,8

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Durata încălzirii propriu-zise θ_{ip} se determină din condiţia ca viteza de încălzire în această perioadă v_{ip} să fie dublă faţă de viteza de preîncălzire $v_{pî}$. Se deduce succesiv:

$$v_{ip} = 2 \cdot v_{pî} \quad (5.3) \text{ sau } \frac{\theta_{id} - \theta_{f_{max}}}{\tau_{ip}} = 2 \cdot \frac{\theta_{f_{max}} - \theta_0}{\tau_{pî}}, \text{ de unde:}$$

$$\tau_{ip} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta_{id} - \theta_{f_{max}}}{\theta_{f_{max}} - \theta_0} \cdot \tau_{pî} \text{ [h].} \qquad (4.44)$$

Timpul de menţinere $\tau_{îm}$, conform *Figurii 4.27* este:

$$\tau_{îm} = \tau_i - \tau_{pî} - \tau_{ip} \text{ [h].} \qquad (4.45)$$

Timpul deformării propriu-zise în care are loc răcirea semifabricatului la temperatura de sfârşit de deformare θ_{sd} se determină cu relaţia experimentală:

$$\tau_d = k_\theta \cdot k_g \text{ [min]} \qquad (4.46)$$

în care: k_θ este factorul de temperatură;

k_g – factorul geometric.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Factorul k_θ depinde de temperatura de început de deformare şi pentru oţeluri se determină cu relaţia următoare, dedusă prin prelucrarea datelor existente în literatură:

$$k_\theta = -1{,}425 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_{id}^2 + 3{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_{id} - 2{,}254 \qquad (4.47)$$

Factorul k_g se determină cu relaţia:

$$k_g = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}} \qquad (4.48)$$

în care a, b, c sunt dimensiunile de gabarit ale semifabricatului, în mm.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Consideraţii teoretice asupra regimului termic de încălzire

Timpul de răcire după deformarea plastică τ_r depinde de structura impusă şi este variabil, în limite largi, în funcţie de mediul de răcire necesar. Timpul τ_r are o importanţă la fel de mare ca şi încălzirea, dar de data aceasta nu asupra procesului de deformare ci asupra calităţii metalului deformat.

Astfel, la o viteză de răcire necorespunzătoare (prea mare), în piesă se pot produce tensiuni termice periculoase şi chiar fisuri sau pot să apară structuri de călire la colţuri, muchii sau în toată masa piesei (se ştie că viteza de răcire în aer este viteză de călire pentru unele oţeluri aliate).

În funcţie de complexitatea piesei şi sensibilitatea la viteza de răcire, răcirea se poate face în mai multe moduri, care ordonate după sensul micşorării vitezei de răcire, se pot enumera astfel: pe sol, piesă singulară; pe sol, piese în vrac; în groapă, piesă singulară; în groapă, piese în vrac; în groapă, piese singulare sau în vrac, acoperite cu nisip sau cenuşă; în cuptor cu uşile deschise şi sursa termică decuplată; în cuptor cu sursa termică cuplată şi reglată (cu viteză controlată).

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Utilajele încălzirii

Utilajele încălzirii se clasifică după mai multe **criterii**, şi anume:

- *după sursa termică folosită*: cuptoare cu flacără (cu combustibil lichid sau gazos) şi cuptoare sau instalaţii electrice cu rezistenţă sau cu inducţie;
- *după modul de funcţionare*: cu funcţionare intermitentă (periodică) şi cu funcţionare continuă (cu vatră fixă sau mobilă) de tip carusel sau liniare;
- *după atmosfera cuptorului*: cu aer cu încălzire directă; cu atmosferă protejată (cu muflă) sau controlată (neutră sau reducătoare);
- *după mărimea semifabricatului*: normale pentru piese mici şi adânci pentru lingouri.

În continuare, se vor prezenta după primul şi al doilea criteriu câteva scheme şi particularităţi ale încălzirii metalului.

În cuptoarele cu flacără căldura se transmite semifabricatelor prin radiaţie şi convecţie din spaţiul de încălzire al cuptorului şi a zidăriei refractare. Drept combustibili se folosesc gazele şi combustibilii lichizi, păcura.

Din punct de vedere constructiv, există o mare diversitate, dintre cele mai uzuale, fiind cuptorul cu cameră, *Figura 4.28*.

În acest caz, *semifabricatele 2* aşezate pe *vatra 1* prin *gura de încărcare 4*, după încălzire cu ajutorul *injectoarelor 3* sunt evacuate pe aceeaşi gură *4*, de unde şi denumirea de cuptoare cu funcţionare periodică. Produsele arderii trec prin *schimbătorul de căldură 5* şi preîncălzesc aerul pentru întreţinerea arderii. Preîncălzirea aerului până la 350÷500°C permite o economisire de combustibil de până la 25%. Acest gen de cuptoare cu cameră şi funcţionare periodică sunt destinate producţiei cu schimbarea frecventă a tipodimensiunilor semifabricatelor deformate plastic.

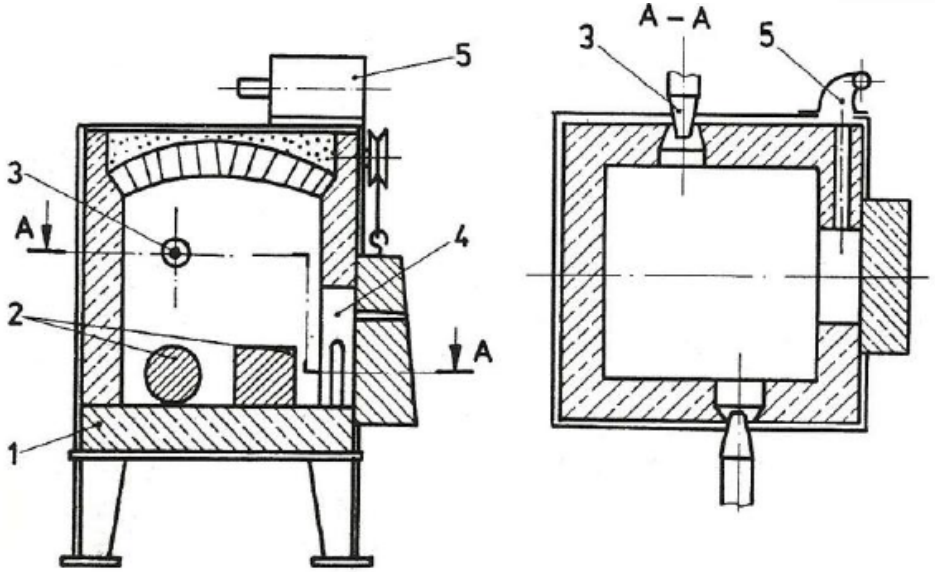


Figura 4.28. Schema unui cuptor cu cameră:
1 – vatră; 2 – semifabricat; 3 – injector; 4 – gură de încărcare; 5 – recuperator.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Utilajele încălzirii

Pentru producţia de serie mare, utilizată este cea de a doua variantă a cuptorului cu flacără, de tip continuu, cu vatră mobilă (carusel sau liniară) şi respectiv fixă cu împingerea semifabricatului pe vatră, zise şi cu propulsor (de largă întrebuinţare). Ultima variantă este reprezentată în *Figura 4.29*.

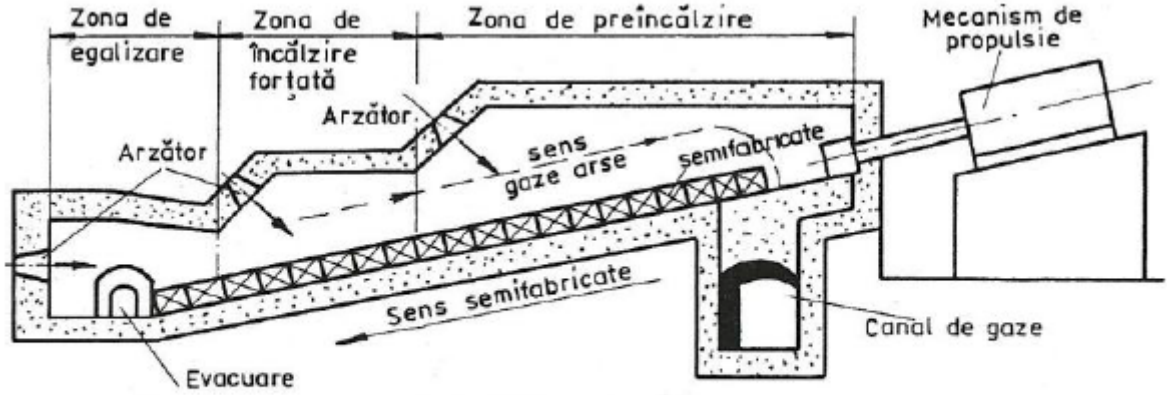


Figura 4.29. Schema unui cuptor continuu cu propulsie.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Utilajele încălzirii

Lungimea cuptorului reproduce graficul încălzirii, în sensul că semifabricatele reci intră întâi în *zona de preîncălzire* la 650÷800°C la oţel şi apoi după ce au trecut de temperatura de fisurare, urmează *zona de încălzire forţată* la 1150÷1250°C şi în ultima zonă, *zona de egalizare* se uniformizează temperatura în toată masa materialului. În acest sens, capacitatea termică a cuptorului se repartizează astfel: 10÷15% în zona de preîncălzire, 30÷40% în zona de încălzire forţată şi 55÷60% în zona de egalizare. Având în vedere funcţionarea continuă, aceste cuptoare au un consum redus de combustibil şi productivitate mare.

Instalaţiile electrice de încălzire se bazează pe convertirea energiei electrice în căldură fie prin inducţie, fie electrorezistiv.

Încălzirea prin inducţie presupune un inductor adecvat ca formă secţiunii transversale a semifabricatului şi care poate fi alimentat diferenţiat pe segmente de la reţea, reproducându-se toate etapele ciclului de încălzire (preîncălzire, încălzire, egalizare), o schemă simplă fiind dată în *Figura 4.30*.

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Utilajele încălzirii

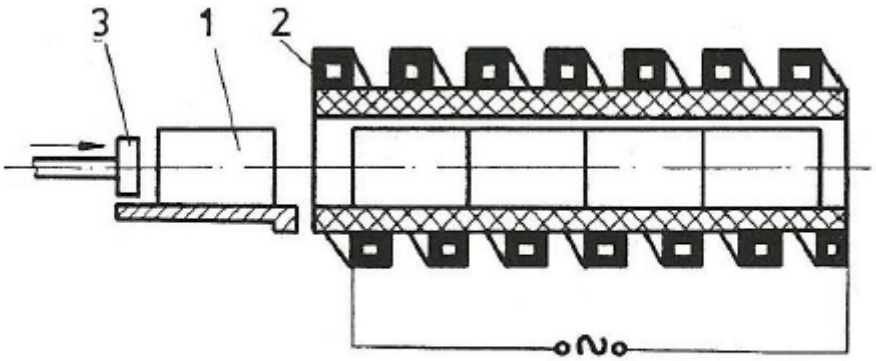


Figura 4.30. Schema unei instalaţii inductive pentru încălzire: 1 – semifabricat; 2 – inductor; 3 – propulsor.

Astfel, *semifabricatele 1* sunt împinse cu ajutorul *mecanismului propulsor 3* în interiorul *inductorului 2* din spiră de cupru cu secţiune rectangulară şi inimă goală prin care circulă apa de răcire. La trecerea curentului prin inductor, se induce un curent care afectează un strat exterior de grosime 30÷35% din raza sau grosimea semifabricatului. Această grosime se micşorează cu creşterea frecvenţei. Ca urmare, cu cât semifabricatul este mai subţire frecvenţa trebuie să fie mai înaltă, şi invers, frecvenţa minimă fiind cea industrială de 50 Hz pentru semifabricate cu diametrul de maximum 180 mm. Frecvenţa se poate determina cu relaţia, $f=3\cdot10^4/d^2$ Hz, unde d este diametrul semifabricatului, în cm. Consumul este de $(1,44\div1,8)\cdot10^6$ J/Kg.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Bazele teoretice ale prelucrării prin deformare plastică

Încălzirea materialelor metalice pentru deformarea plastică

Utilajele încălzirii

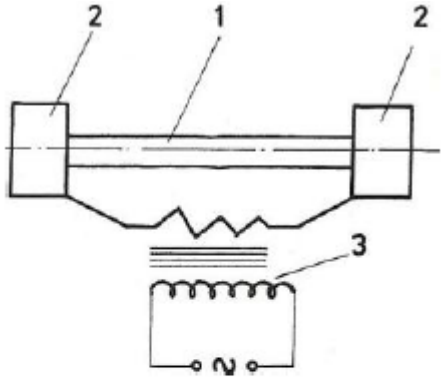


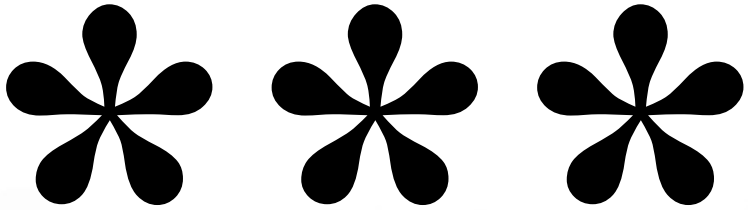
Figura 4.31. Schema încălzirii electrorezistive de contact:
1 – semifabricat; 2 – bacuri de prindere din cupru fosforos; 3 – transformator.

Încălzirea electroinductivă se aplică pentru dimensiuni de până la 200 mm, iar până la diametre de 75 mm mai bună este soluţia încălzirii prin contact, când piesa este rezistenţa, *Figura 4.31*.

Tensiunea de lucru este de 6÷15 V, iar consumul este de $(1{,}08 \div 1{,}44) \cdot 10^6$ J/Kg oţel.

Faţă de încălzirea cu flacără, încălzirea cu instalaţii electrice prezintă următoarele avantaje: viteză mare, mult superioară cuptoarelor cu combustibil; lipsesc aproape complet cojile de oxizi; se pretează foarte bine automatizării; se îmbunătăţesc condiţiile de muncă.

Ca dezavantaje: capătul barei rămâne rece şi distruge matriţele; se pot utiliza numai pentru producţia de serie şi masă.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

- **Forjarea liberă**
- **Matriţarea la cald a materialelor metalice**

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea este procedeul de deformare plastică la cald a materialelor metalice şi cunoaşte variantele: forjare liberă, manuală sau mecanică şi forjare în matriţă.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Forjarea liberă

Este procedeul de prelucrare prin presiune la cald, neîngrădit, cu scule universale. Metalul se dezvoltă, curge liber pe direcţia perpendiculară pe direcţia forţei exterioare, acţionată dinamic (ciocane) sau quasistatic (pe prese hidraulice).

Prin forjare liberă se obţin piese brute, semifabricate forjate, care se supun ulterior aşchierii. La ora actuală este unica metodă de modelare, deformare a pieselor grele de până la 250 tone, cum ar fi: rotori de turbine hidraulice; arbori cotiţi pentru motoare de nave transoceanice; cilindri de laminor etc.

Piese de masă mai mică (zeci şi sute de kilograme) se pot forja atât liber cât şi în matriţe.

Cu toată precizia matriţării, pentru piese unicat sau de serie mică, forjarea liberă rămâne economic net superioară, întrucât costul matriţelor nu se amortizează decât în serie de fabricaţie acoperitoare.

Pentru piese mari şi grele ca materie primă servesc lingourile de până la 320 tone, iar pentru piese mici şi mijlocii ca materie primă servesc blumurile şi profilele de secţiune circulară sau rectangulară.

Aprecierea forjării se face prin aşa numitul coroiaj (grad de forjare), care pentru o singură încălzire are forma:

$$C = \frac{A_0}{A_f} \qquad (4.72)$$

în care: A_0 este secţiunea iniţială;
A_f – secţiunea finală.

Forjarea liberă

Cum deformarea prin forjare se poate face din mai multe lovituri şi treceri, coroiajul total este un produs de coroiaje parţiale.

$$C_t = C_1 \cdot C_2 \cdot \ldots \cdot C_n$$

când conform (4.72), putem scrie:

$$C_t = \frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{A_2}{A_3} \cdot \ldots \cdot \frac{A_{n-1}}{A_n} = \frac{A_0}{A_n}$$

în care: n este numărul de lovituri sau curse de piesă.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Forjarea liberă
Operaţiile forjării libere

Procesul tehnologic de forjare liberă este alcătuit dintr-o succesiune de operaţii de bază şi auxiliare. Fiecare operaţie este caracterizată de un anumit mod de deformare şi anumite scule specifice din inventarul universal de scule.

Dintre operaţiile de bază ale forjării libere amintim: refularea; întinderea; găurirea; tăierea; îndoirea; răsucirea; sudarea prin forjare. Răsucirea şi sudarea prin forjare sunt operaţii utilizate mai rar.

Refularea este operaţia fundamentală a prelucrării prin forjare, prin care se micşorează înălţimea semifabricatului şi se măreşte secţiunea lui transversală, pentru un semifabricat cilindric fiind exemplificată în *Figura 4.41*.

Refularea se execută în următoarele scopuri: pentru obţinerea unor piese cu secţiune transversală mare din semifabricate cu secţiune transversală mică; pentru obţinerea pieselor de tipul flanşelor, roţilor dinţate, discurilor etc.; ca operaţie prealabilă în vederea găuririi prin forjare.

La alegerea semifabricatului iniţial se au în vedere *condiţiile refulării*, care sunt:

- *gradul de deformare realizat prin refulare* ε_d să fie mai mic decât un grad de deformare limită admis de material ε_{da}, în condiţiile considerate, deci:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} < \varepsilon_{da} \qquad (4.73)$$

Mărimea gradului de deformare limită admis ε_{da} se stabileşte prin încercări, până la apariţia primelor fisuri la deformare continuă, pentru fiecare material în condiţiile de deformare date. De exemplu, pentru oţelurile carbon obişnuite şi slab aliate, $\varepsilon_{da} = 0{,}75 \div 0{,}85$.

- *raportul de refulare* ψ_r , dintre înălţimea h_0 şi diametrul d_0 (sau grosime), al semifabricatului trebuie să fie mai mic decât raportul de refulare limită admisibil ψ_{ra} pentru a se evita apariţia flambajului în timpul refulării, deci:

$$\psi_r = \frac{h_0}{d_0} < \psi_{ra} . \qquad (4.74)$$

Raportul ψ_{ra} depinde de proprietăţile elasto-plastice ale materialului, de temperatura de deformare, de dimensiunile semifabricatului şi de modul de aplicare a forţei de deformare P_d . Determinarea analitică a raportului ψ_{ra} prezintă dificultăţi, în special pentru temperaturi ridicate, datorită modificării proprietăţilor elasto-plastice. Pe baza rezultatelor experimentale, în practică se poate lucra cu bune rezultate dacă se acceptă $\psi_{ra} = 3$ pentru deformarea la rece şi $\psi_{ra} = 2{,}2 \div 2{,}5$ pentru deformarea la cald.

Volumul de material supus deformării prin refulare poate să curgă plastic uniform în toată masa lui, *Figura 4.41(a)*, sau neuniform, *Figura 4.41(b)*.

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

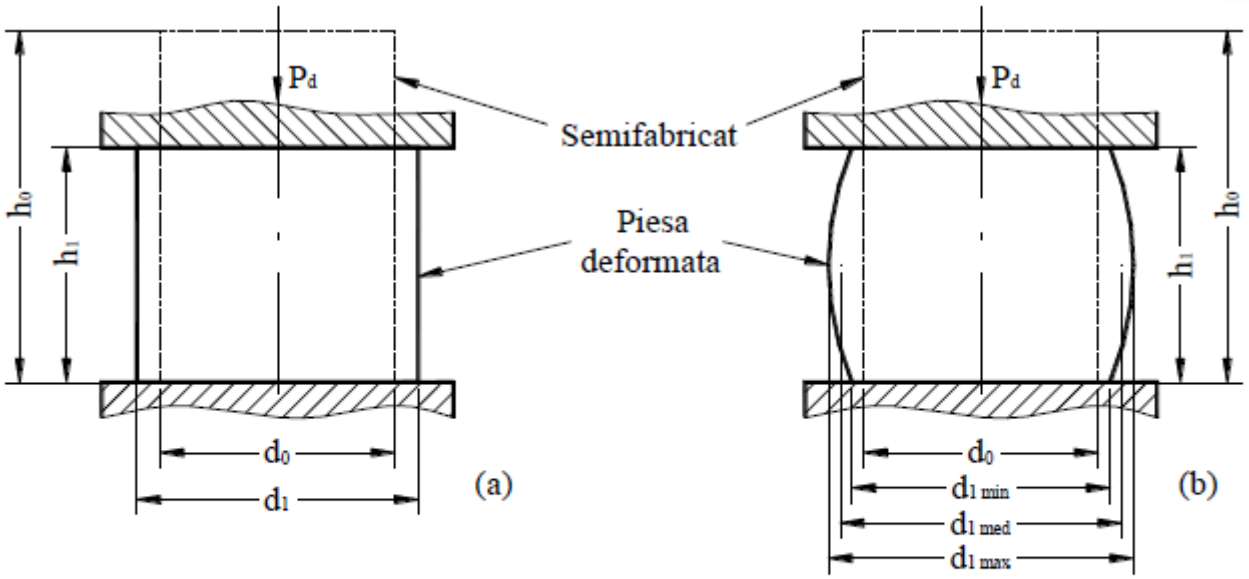


Figura 4.41. Schema refulării cu deformare uniformă (a) şi neuniformă (b):
h_0, d_0 şi h_1, d_1 – dimensiunile iniţiale şi respectiv finale ale semifabricatului;
P_d – forţa de deformare.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Forjarea liberă
Operaţiile forjării libere

Ca operaţie de bază a proceselor tehnologice de forjare liberă, refularea poate fi considerată uniformă numai în condiţiile:

- materialul supus deformării este omogen atât din punct de vedere al compoziţiei chimice, cât şi din cel al proprietăţilor lui mecanice (izotrop);
- atunci când deformarea se realizează la cald, se presupune că se realizează o uniformitate perfectă a temperaturii în întregul volum al materialului;
- în acelaşi timp să fie supus acţiunii sculelor întregul volum de material, respectiv să nu existe zone din semifabricat care să rămână în afara acţiunii directe a sculelor;
- între suprafeţele de contact dintre scule şi semifabricat să nu existe frecare care să conducă la crearea de forţe exterioare suplimentare.

Dacă toate aceste condiţii nu sunt îndeplinite simultan, refularea se realizează cu deformare neuniformă. Întrucât doar primele două pot fi practic îndeplinite, înseamnă că în realitate trebuie să se considere numai refularea cu deformare neuniformă.

În condiţii normale de uzinare, refularea se va realiza întotdeauna cu deformare neuniformă, manifestată prin apariţia unor zone în volumul materialului care au suferit refulări parţiale cu grade diferite de deformare. Neuniformitatea deformaţiei la scară macro este pusă în evidenţă prin forma bombată (butoiată) obţinută în urma refulării unui semifabricat cilindric, *Figura 4.41(b)*.

Apariţia formei butoiate, la semifabricatele cilindrice, ca urmare a neuniformităţii deformaţiei, depinde pe de o parte de raportul de refulare ψ_r, iar pe de altă parte de valoarea forţelor de frecare de pe suprafaţa de contact dintre scule şi material.

La rapoarte de refulare mari, $\psi_r = 2 \div 3$, *Figura 4.42(a) şi (b)*, respectiv în cazul cilindrilor cu zvelteţe mare, se formează în vecinătatea contactului cu sculele de lucru, la începutul deformării, două zone bombate (butoiate), iar la continuarea deformării aceste zone se contopesc, pe când la rapoarte de refulare mici, $\psi_r < 2$, *Figura 4.42(c)*, se formează o singură zonă butoiată şi aceasta în partea de mijloc a semifabricatului.

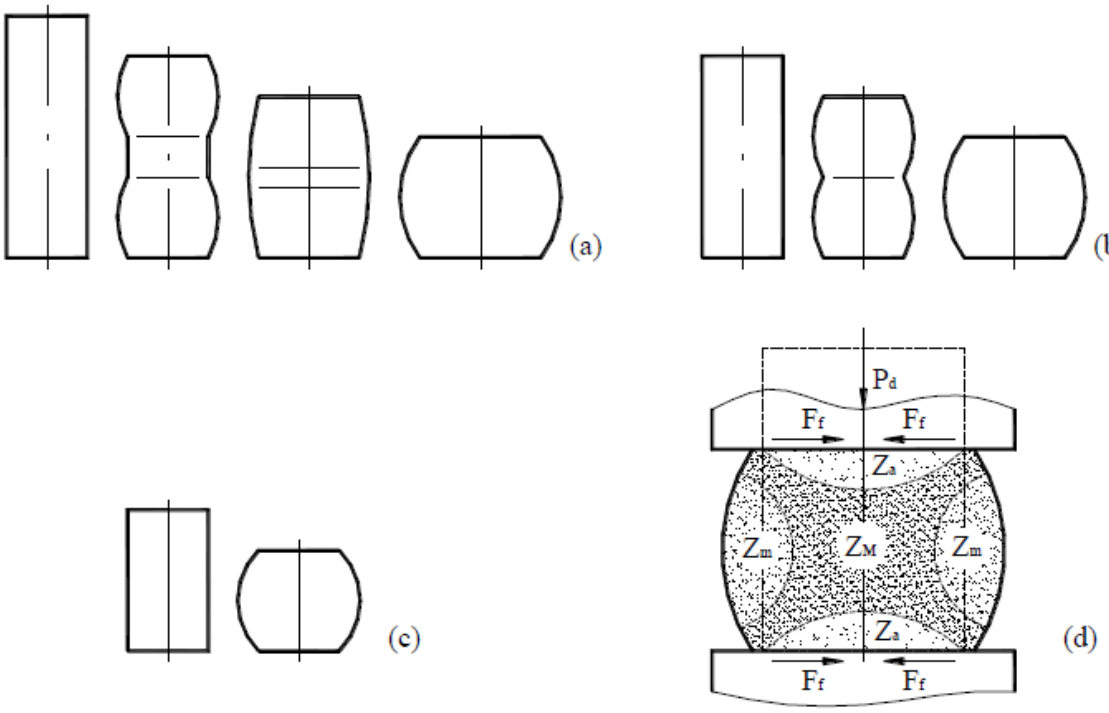


Figura 4.42. Refularea cu deformare neuniformă a unor semifabricate cilindrice:
(a) – cazul $\psi_r = 2{,}5 \div 3$; (b) – cazul $\psi_r = 2 \div 2{,}5$; (c) – cazul $\psi_r < 2$;
(d) – reprezentarea zonelor de deformaţie.

Convexitatea depinde de mărimea şi de distribuţia forţelor de frecare pe suprafeţele de contact cu sculele, F_f, *Figura 4.42(d)*. Aceste forţe frânează curgerea materialului din zonele imediat învecinate, deformarea producându-se mai pronunţat în zonele centrale. Acest fenomen face ca forma cilindrică să se transforme în formă butoiată, determinând apariţia în volumul semifabricatului, din punct de vedere a intensităţii deformaţiei, a trei zone de deformaţie, *Figura 4.42(d)*:

- *zona de aderenţă*, Z_a, este zona din semifabricat aflată în imediata vecinătate a sculelor de deformare, în care intensitatea deformaţiei este mică;
- *zona deformaţiilor mari*, Z_M, aflată în partea centrală a semifabricatului;
- *zona deformaţiilor medii*, Z_m, aflată în partea centrală a suprafeţei laterale a semifabricatului.

Pentru executarea refulării trebuie cunoscută forţa de deformare necesară şi lucrul mecanic de deformare, pentru a alege utilajul corespunzător de lucru.

Forţa de refulare, P, la prese se determină cu relaţia:

$$P = p \cdot A\,, \qquad (4.75)$$

în care: p este forţa specifică sau rezistenţa la deformare, în daN/mm^2;
A – suprafaţa de contact material-scule, în mm^2.

Rezistenţa la deformare este o caracteristică mecanică complexă şi care se determină fie analitic fie cu relaţii empirice.

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

Dintre relaţiile analitice, cea mai utilizată este *formula lui Siebel*, care pentru semifabricate cilindrice, *Figura 4.41(a)*, are forma:

$$p = \sigma_c' \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{h} \right), \qquad (4.76)$$

în care: σ_c' este rezistenţa la deformare (limita de curgere) a materialului la temperatura de încercare;
μ – coeficient de frecare metal-scule (0,2÷0,4);
d – diametrul piesei ce se refulează;
h – înălţimea piesei ce se refulează.

Valoarea lui σ_c' este dependentă şi de alţi factori:

$$\sigma_c' = W \cdot M \cdot \sigma_c, \qquad (4.77)$$

în care: σ_c este limita de curgere a metalului la temperatura de încercare, *Tabelul 4.3*;
W – corecţia lui σ_c pentru a se ţine seama de influenţa vitezei de deformare, *Tabelul 4.4*;
M – coeficient de mărime a piesei în raport cu epruveta folosită şi care se poate lua din diagrame. Valoarea lui M se dă în tabele în literatura de specialitate, *Tabelul 4.5*.

Tabelul 4.3. Valoarea lui σ_c cu temperatura pentru unele oţeluri.

Marca oţelului	Temperatura de încercare, în K							
	1070	1120	1170	1220	1270	1320	1370	1420
	σ_c [daN/mm^2]							
OL 38; OL 42	6,0	5,6	4,2	3,7	3,1	2,3	2,0	1,5
OLC 25; OLC 35	6,5	6,3	4,7	4,1	3,2	2,4	2,0	1,6
OLC 45; OLC 60	6,8	6,5	5,0	4,3	3,3	2,5	2,2	1,7
36 M 17	9,0	7,0	5,5	4,3	3,3	2,6	2,2	1,7
40 C 10	6,8	6,0	5,0	4,2	3,3	2,6	2,2	1,7
35 CN 15	6,8	6,0	5,0	4,2	3,3	2,7	2,2	1,7
OSC 12	10,4	-	6,2	5,0	3,0	2,8	2,4	1,9

Tabelul 4.4. Coeficientul *W* funcţie de viteza de deformaţie.

Tipul utilajului	Presă, cm/s			Ciocan, m/s
Viteza de deformare	10÷25	25÷75	75	6÷8
Coeficientul de corecţie, *W*	1,2÷1,6	1,6÷2,0	2,0÷2,5	2,0÷4,0

Tabelul 4.5. Coeficientul *M* funcţie de masa semifabricatului.

Masa lingoului, în t	peste 100	100÷51	50÷21	20÷6	6÷4	sub 4
Diametrul sau latura semifabricatului, în mm	1000	1000÷8000	800÷300	300÷100	100÷50	50
Valoarea coeficientului *M*	0,50	0,51÷0,55	0,56÷0,60	0,61÷0,70	0,71÷0,80	0,81÷1

Proiectarea proceselor tehnologice de refulare pe ciocane, la producţia de serie şi masă, presupune cunoaşterea condiţiilor şi parametrilor tehnologici ai refulării la o lovitură, elemente care determină eficienţa procedeului (productivitate maximă în condiţiile unui consum energetic minim) şi concură la obţinerea calităţii prescrise a pieselor forjate.

Principalii parametri tehnologici urmăriţi la refularea pe ciocane la o lovitură sunt: gradul de refulare; diametrul mediu al semifabricatului cilindric refulat; energia de lovire; lucrul mecanic de deformare; rezistenţa la deformare.

Gradul de refulare φ_d. Pentru definirea deformaţiilor la refulare, respectiv a modificării formei şi dimensiunilor, se utilizează în scopul calculului practic, în principal, două formulări – *gradul de deformare* ε_d şi *gradul de refulare* φ_d, care vor fi explicitate prin exemplul încercării la compresiune a unei epruvete cilindrice, *Figura 4.43*.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

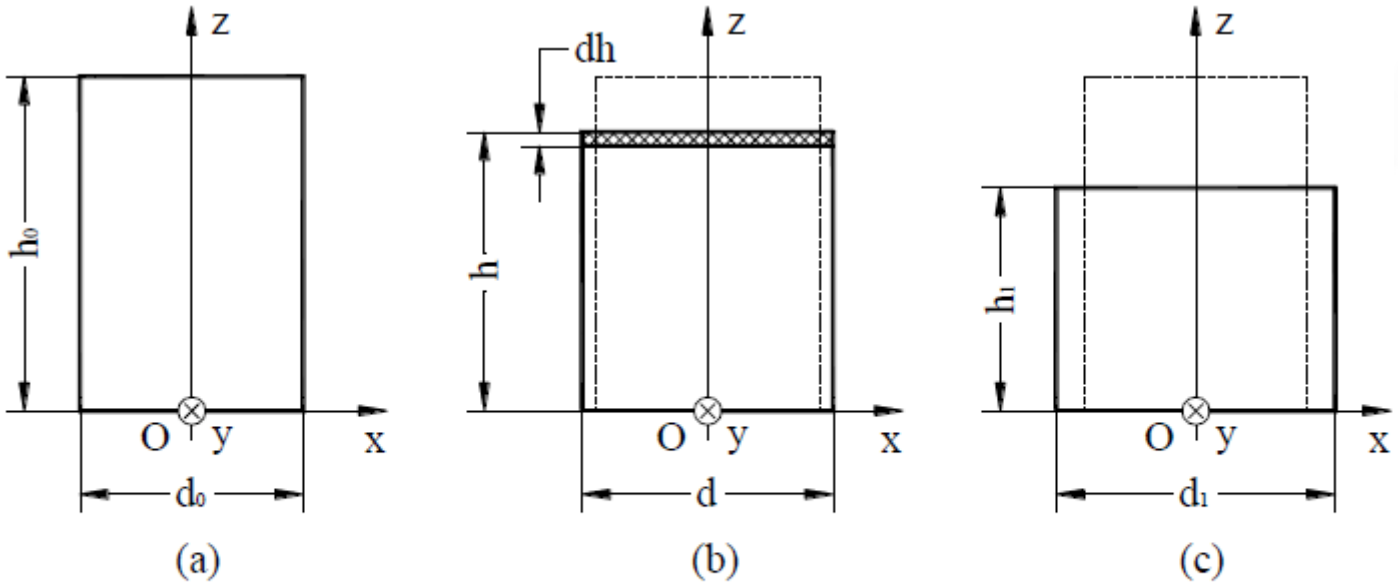


Figura 4.43. Încercarea la compresiune (refulare):
(a) – epruveta iniţială;
(b) – epruveta în cursul deformării;
(c) – epruveta deformată.

Variaţia elementară a „gradului" de deformare $d\varepsilon$, reprezintă variaţia elementară a înălţimii epruvetei $-dh$ (semnul „–" corespunde compresiunii) raportată la înălţimea iniţială a epruvetei h_0, deci:

$$d\varepsilon = -\frac{dh}{h_0}, \tag{4.78}$$

iar prin integrare, în limitele $0 \to \varepsilon_d$ şi $h_0 \to h_1$, rezultă:

$$\int_0^{\varepsilon_d} d\varepsilon = -\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h_0} \text{ sau } \varepsilon\Big|_0^{\varepsilon_d} = -\frac{1}{h_0} \cdot h\Big|_{h_0}^{h_1},$$

de unde se deduce relaţia pentru calculul *gradului de deformare*:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0}. \tag{4.79}$$

Pe de altă parte, variaţia elementară a gradului de refulare $d\varphi$ reprezintă variaţia elementară a înălţimii epruvetei $-dh$ raportată la înălţimea instantanee h, deci:

$$d\varphi = -\frac{dh}{h}, \tag{4.80}$$

din care prin integrare în limitele $0 \to \varphi_d$ şi $h_0 \to h_1$, rezultă:

$$\int_0^{\varphi_d} d\varphi = -\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} \text{ sau } \varphi\Big|_0^{\varphi_d} = -ln\, h\Big|_{h_0}^{h_1},$$

de unde se deduce relaţia pentru calculul *gradului de refulare*:

$$\varphi_d = ln\frac{h_0}{h_1}. \qquad (4.81)$$

Utilizarea gradului de refulare oferă avantaje referitoare la tehnica calculului. Astfel, în cazul mai multor faze de deformare, modificarea totală a formei şi dimensiunilor este egală cu suma modificărilor parţiale. De exemplu, pentru realizarea unei piese prin n faze de refulare se poate scrie:

$$\varphi_{d_{total}} = ln\frac{h_0}{h_n} = ln\left(\frac{h_0}{h_1}\cdot\frac{h_1}{h_2}\cdot\ldots\cdot\frac{h_{n-1}}{h_n}\right) = ln\frac{h_0}{h_1} + ln\frac{h_1}{h_2} + \ldots + ln\frac{h_{n-1}}{h_n} = \varphi_{d_1} + \varphi_{d_2} + \ldots + \varphi_{d_n} \qquad (4.82)$$

în care: $h_i,\ i = \overline{1,n}$ reprezintă înălţimile semifabricatului după fiecare fază de refulare;

$\varphi_{d_i},\ i = \overline{1,n}$ sunt gradele de refulare parţiale.

Datorită acestui avantaj este necesară stabilirea relaţiei dintre gradul de refulare φ_d şi gradul de deformare ε_d. Astfel:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1 - \frac{h_1}{h_0} \text{ sau } \frac{h_0}{h_1} = \frac{1}{1 - \varepsilon_d},$$

de unde, prin logaritmare se deduce

$$\varphi_d = -ln(1 - \varepsilon_d). \quad (4.83)$$

Diametrul mediu al semifabricatului cilindric deformat $d_{1_{med}}$ se determină ţinând seama că deformarea se produce radial şi utilizând legea volumului constant. Astfel, cu notaţiile din *Figura 4.41* se poate scrie:

$$V_0 = V_1 \text{ sau } \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot d_{1_{med}}^2}{4} \cdot h_1,$$

de unde:

$$d_{1_{med}} = d_0 \cdot \sqrt{\frac{h_0}{h_1}} \text{ [mm]}. \quad (4.84)$$

În cazul semifabricatelor prismatice, dimensiunile medii în plan transversal pe direcţia forţei se determină utilizând atât legea volumului constant, cât şi legea minimei rezistenţe.

Energia de lovire, E_c, reprezintă energia cinetică acumulată până în momentul aplicării loviturii şi se determină cu relaţia:

$$E_c = \frac{m_e \cdot v_a^2}{2} \text{ [N·m]} \qquad (4.85)$$

în care: m_e este masa echivalentă la lovire, în kg;

v_a – viteza berbecului în momentul atingerii semifabricatului, în m/s.

Masa echivalentă m_e se determină utilizând relaţia:

$$m_e = \frac{G + F_a}{g} \text{ [kg]}, \qquad (4.86)$$

în care: G este greutatea berbecului, în N;

F_a – forţa de antrenare a berbecului;

g – acceleraţia gravitaţională, $g = 10$ m/s^2.

Forţa de antrenare a berbecului F_a reprezintă diferenţa dintre forţa F exercitată de aerul comprimat asupra pistonului de lucru şi forţa de frecare F_f dintre piston şi cilindrul de lucru al ciocanului. Astfel:

$$F_a = F - F_f \text{ [N]} \qquad (4.87)$$

Forţa F se determină cu relaţia:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \Delta p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (p_s - p_i) \text{ [N]} \qquad (4.88)$$

în care: d este diametrul pistonului de lucru, în m;
Δp – diferenţa de presiune dintre presiunea aerului din partea superioară a pistonului de lucru p_s şi presiunea din partea inferioară a acestuia p_i.

Pentru ciocanul cu autocompresie de 63 kgf, $d = 0{,}2$ m, iar în momentul aplicării loviturii $\Delta p \cong 2{,}5 \cdot 10^4$ Pa.

Forţa F_f se consideră ca fiind o fracţiune din greutatea berbecului, iar în condiţii normale de utilizare a ciocanului cu autocompresie,

$$F_f = \frac{1}{10} Mg \text{ [N]} \qquad (4.89)$$

Viteza berbecului v_a în momentul atingerii semifabricatului se determină cu relaţia:

$$v_a = \sqrt{2aH} \text{ [m/s]}, \qquad (4.90)$$

în care: a este acceleraţia berbecului, în m/s^2;
H – cursa berbecului, în m.

Acceleraţia berbecului se calculează, ţinând seama de forţa de antrenare, astfel:

$$a = \frac{G + F_a}{G} \cdot g \ [\text{m/s}^2]. \qquad (4.91)$$

Cursa berbecului se determină în funcţie de cursa maximă a berbecului H_{max} şi înălţimea iniţială a semifabricatului h_0 la lovitura curentă, cu relaţia:

$$H = H_{max} - h_0 \ [\text{m}]. \qquad (4.92)$$

Lucrul mecanic de deformare, L_d. Energia de lovire nu se transformă integral în lucru mecanic de deformare, deoarece o cantitate din aceasta este consumată de elasticitatea sistemului, deci există un randament al loviturii η_l, care în cazul ciocanelor cu autocompresie are valoarea $\eta_l = 0{,}7$. Acest randament poate fi mărit prin mărirea rigidităţii sistemului. Prin urmare, se poate spune că:

$$L_d = \eta_l \cdot E_c \ [\text{N·m}]. \qquad (4.93)$$

Rezistenţa la deformare R_d. Lucrul mecanic necesar pentru refulare, în teoria plasticităţii, se determină utilizând ecuaţiile diferenţiale de echilibru în timpul deformării. În cazul deformaţiilor mari (cele folosite curent în practică), se ţine seama de frecare prin coeficientul μ, iar expresia lucrului mecanic de deformare, are forma:

$$L_d = R_d \cdot V_0 \cdot \left[ln\frac{h_0}{h_1} + \frac{2}{9} \cdot \mu \cdot \left(\frac{d_1}{h_1} - \frac{d_0}{h_0} \right) \right]. \qquad (4.94)$$

În cazul refulării pe ciocane, la o lovitură, expresia $\frac{d_1}{h_1} - \frac{d_0}{h_0} \to 0$. Astfel, din relaţia (4.94) se deduce relaţia pentru determinarea rezistenţei maxime la deformare:

$$R_d = \frac{L_d}{V_0 \cdot ln\frac{h_0}{h_1}} \text{ [Pa] sau } R_d = 10^{-6}\frac{L_d}{V_0 \cdot \varphi_d} \text{ [MPa].} \qquad (4.95)$$

Relaţiile teoretice pentru calculul rezistenţei la deformare nu pot lua în considerare toţi factorii care au influenţă asupra acesteia, cum ar fi: limita de curgere a materialului care se deformează, frecarea dintre material şi scule, viteza de deformare, temperatura la care se deformează materialul, forma şi dimensiunile semifabricatului etc.

În majoritatea cazurilor, influenţa diferiţilor factori asupra rezistenţei la deformare se determină experimental.

Întinderea prin forjare. Este operaţia prin care se execută întinderea unui semifabricat sau a unei părţi din el, pe seama micşorării secţiunii transversale, *Figura 4.44(a)*.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

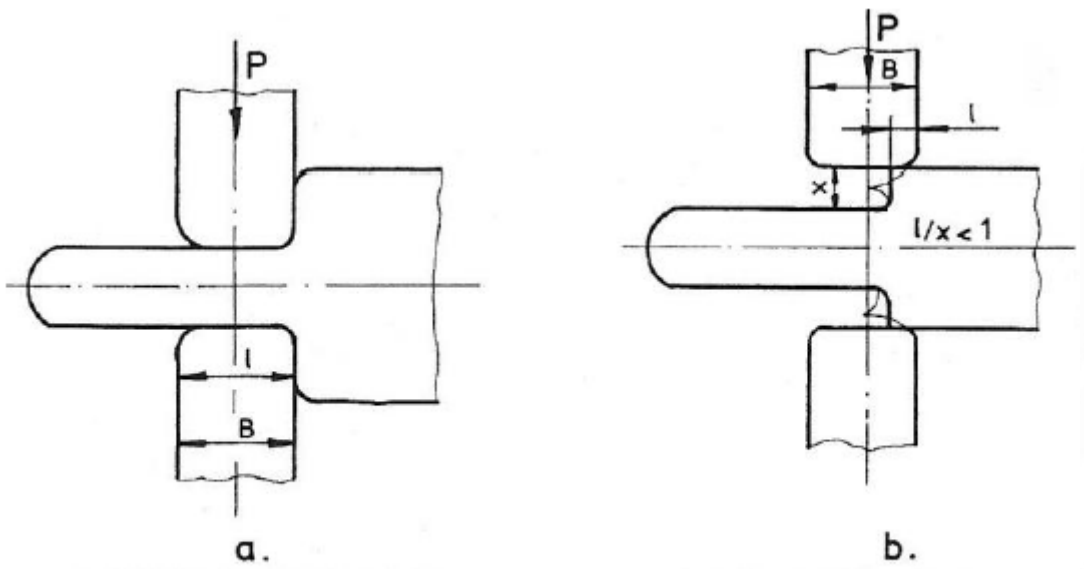


Figura 4.44. Schema întinderii:
a – normală; b – cu suprapunere de material.

Întinderea se execută prin loviri succesive sau presări pe o anumită porţiune cu ajutorul unor nicovale, zona de deformare fiind delimitată de o anumită lungime de avans şi de rotire continuă cu 90° în lungul axei longitudinale. La fiecare lovitură se micşorează înălţimea zonei de deformare şi cresc lungimea şi lăţimea.

La forjarea cu intensitatea constantă a loviturii, lungimea produsului va rezulta ca o sumă a întinderilor de la fiecare lovitură, iar lăţimea va rezulta constantă.

Dacă semifabricatul se roteşte cu 90° şi se repetă forjarea, lungimea va creşte din nou, în timp ce secţiunea va scădea.

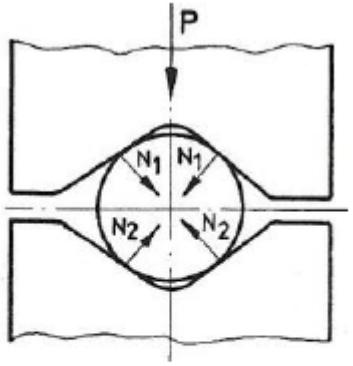


Figura 4.45. Întinderea cu scule profilate.

Cu cât avansul *l* este mai mic, deci se va lucra cu nicovale înguste, cu atât şi întinderea va fi mai mare. Totuşi, la un avans mai mic decât reducerea înălţimii poate duce la suprapuneri de material, *Figura 4.44(b)*.

Întinderea se poate face cu scule plane, *Figura 4.44(a)*, dar şi cu scule profilate, *Figura 4.45*.

La întinderea cu scule plane a semifabricatelor rotunde, în axa materialului pot lua naştere tensiuni periculoase de tracţiune care pot fisura materialul, fenomen care este contracarat prin echilibrarea forţelor N_1, N_2 de deformare din partea nicovalelor profilate şi de asemenea, întinderea este mult mai intensivă.

Aprecierea deformării prin întindere se face prin coroiajul K, exprimat ca raport al secţiunilor iniţială şi finală:

$$K = \frac{A_0}{A_f} \cdot 100 \ [\%], \qquad (4.96)$$

în care: A_0 este secţiunea iniţială a semifabricatului;
A_f – secţiunea finală a semifabricatului prelucrat.

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

Cu cât coroiajul este mai mare, cu atât metalul este mai bine frământat şi proprietăţile mecanice sunt mai bune. Un coroiaj bun merge între 4÷6 şi se fabrică pe această cale arbori, pârghii, tije, tiranţi etc.

Întinderea se poate aplica şi pentru micşorarea grosimii pereţilor unui semifabricat găurit, cunoscute fiind două variante: pe dorn conic, pentru diametre mici şi pe bară, pentru diametre mai mari, *Figura 4.46*, sau lărgire.

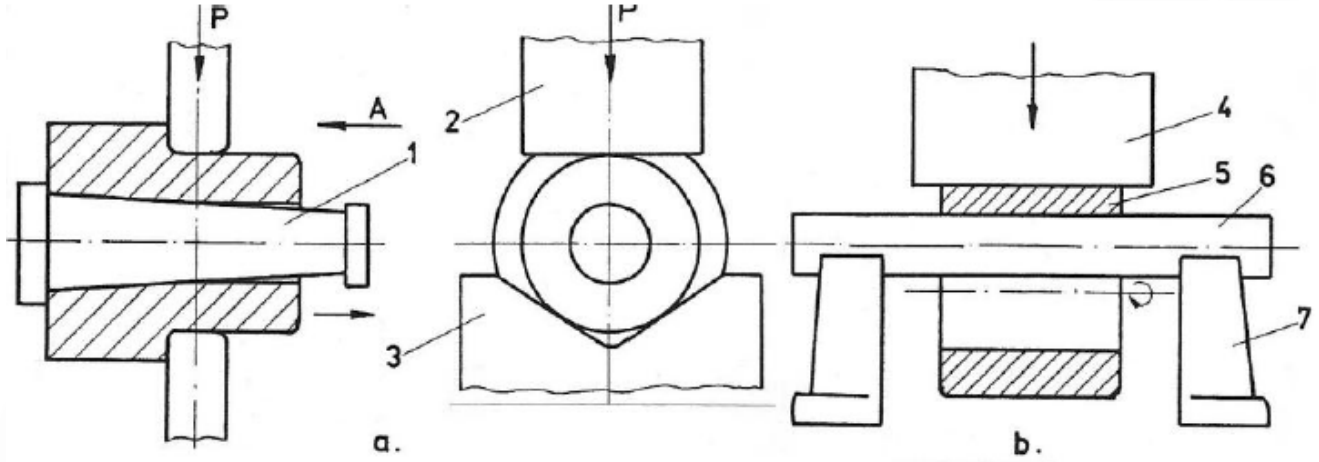


Figura 4.46. Întinderea semifabricatelor tubulare:
a – pe dorn conic; b – pe bară; 1 – dorn conic; 2 – nicovală plană; 3 – nicovală profilată; 4 – nicovală îngustă; 5 – semifabricat; 6 – bară; 7 – suportul barei.

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

La inelele mari, *Figura 4.46(b)*, după fiecare lovitură semifabricatul se roteşte cu un avans circular în jurul axei longitudinale.

În general, aceste variante se folosesc combinat. Astfel, pe dorn se elimină forma de butoi a suprafeţei exterioare dintr-o găurire anterioară şi se obţine şi diametrul interior necesar pentru introducerea pe bară, continuându-se forjarea pentru aducerea la grosimea de perete şi diametru necesar.

Reuşita întinderii trebuie să ţină seama de câteva reguli:

- prima trecere de forjare se face la 50% din gradul admis, deoarece se lucrează pe semifabricat turnat cu plasticitate scăzută (în special pentru oţelurile aliate);
- pentru a evita suprapunerile de metal, lungimea de avans trebuie să fie mai mare decât reducerea x pe înălţime, *Figura 4.44(b)*;
- suprapuneri se pot obţine şi la capete, dacă lungimea de avans (de prindere între ciocan şi nicovală) este mai mică decât jumătatea înălţimii semifabricatului;
- pentru obţinerea de suprafeţe netede, trebuie ca lungimea de avans l să fie $(0,6 \div 0,8) \cdot B$, unde B este lăţimea nicovalei, *Figura 4.44*;
- pentru evitarea fisurării se recomandă ca forjarea să se facă cu scule profilate;
- forjarea semifabricatelor pentru obţinerea de piese circulare, se face sub formă de pătrat până aproape de secţiunea brută a piesei, după care se teşesc muchiile şi se continuă forjarea la rotund.

Găurirea prin forjare. Este operaţia prin care se obţin cavităţi în piesă prin dislocare sau deplasare de metal. Găurirea poate să fie străpunsă sau parţială.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Forjarea liberă
Operaţiile forjării libere

Scula de bază este dornul de găurire de secţiune plină sau inelară, *Figura 4.47*.

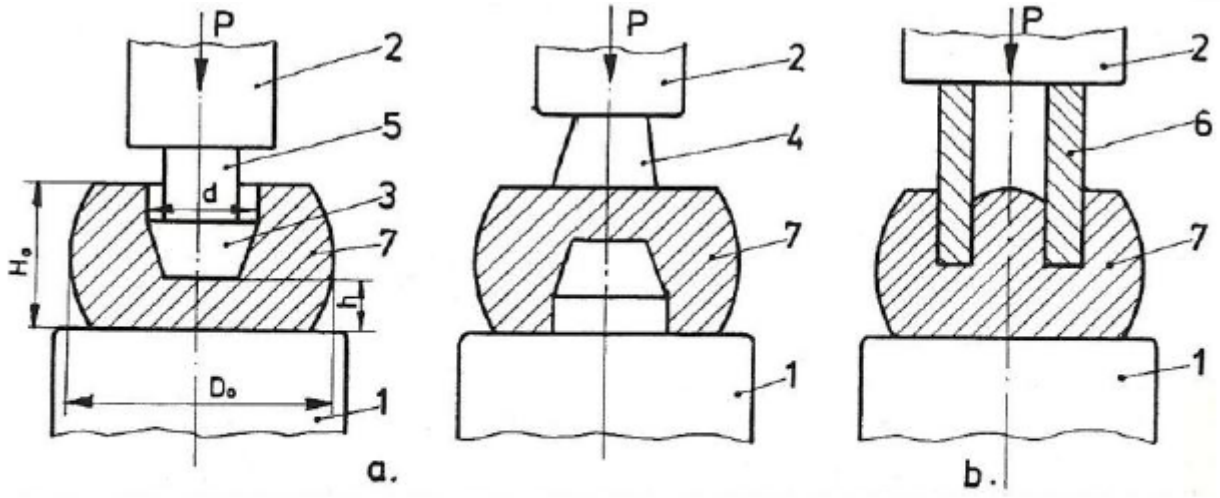


Figura 4.47. Schema găuririi prin forjare:
a – cu dorn plin; b – cu dorn tubular; 1, 2 – nicovale; 3, 4 – dornuri pline; 5 – prelungitor; 6 – dorn tubular; 7 – semifabricat.

Găurirea cu dorn plin se face în două faze, *Figura 4.47(a)*, şi se recomandă pentru găuri mai mici de 1/2÷1/3 din diametrul exterior al semifabricatului.

Găurirea cu dorn tubular, *Figura 4.47(b)*, se foloseşte pentru găuri cu diametrul mai mare de 400÷500 mm şi când se urmăreşte şi eliminarea miezului axial al semifabricatului în care sunt înglobate şi impurităţi şi unele defecte de material.

Găurirea este soldată şi cu pierdere de material, care conform notaţiilor de pe *Figura 4.47(a)*, dopul ce se pierde se poate calcula cu relaţia:

$$V_d = (0{,}25 \div 0{,}30)\frac{\pi d^2}{4} H_0 \,. \qquad (4.97)$$

La găurirea cu dorn plin trebuie reţinut că apare o micşorare a înălţimii semifabricatului iniţial şi o mărire a diametrului exterior, mai accentuată la partea superioară şi acest efect este cu atât mai mare cu cât raportul d / D_0 este mai mare (de aceea înainte de găurire se face o refulare la d / D_0 convenabil).

Diametrul final al semifabricatului găurit D_1 se poate scoate din egalarea suprafeţelor secţiunilor transversale:

$$\frac{\pi D_0^2}{4} = \frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \text{ de unde rezultă, } D_d = \sqrt{D_0^2 + d^2} \,. \qquad (4.98)$$

Forţa de găurire se determină cu o relaţie asemănătoare celei de la refulare, de forma:

$$P = p \cdot A_p = \sigma_c' \left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right)\left(1 + 1{,}15\ln\frac{D_1}{d}\right)A_p \qquad (4.99)$$

în care: A_p este secţiunea dornului perforator;

$\sigma_c' \left(1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right)A_p$ – forţa de refulare sub dorn cu dimensiunile d şi h;

$\left(1 + 1{,}15\ln\frac{D_1}{d}\right)$ – multiplu care măreşte forţa de refulare întrucât găurirea dă refulare închisă.

Tăierea prin forjare. Este operaţiunea de separare a metalului prin pătrunderea unor scule numite topoare, *Figura 4.48*, tăierea făcându-se după un contur deschis.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

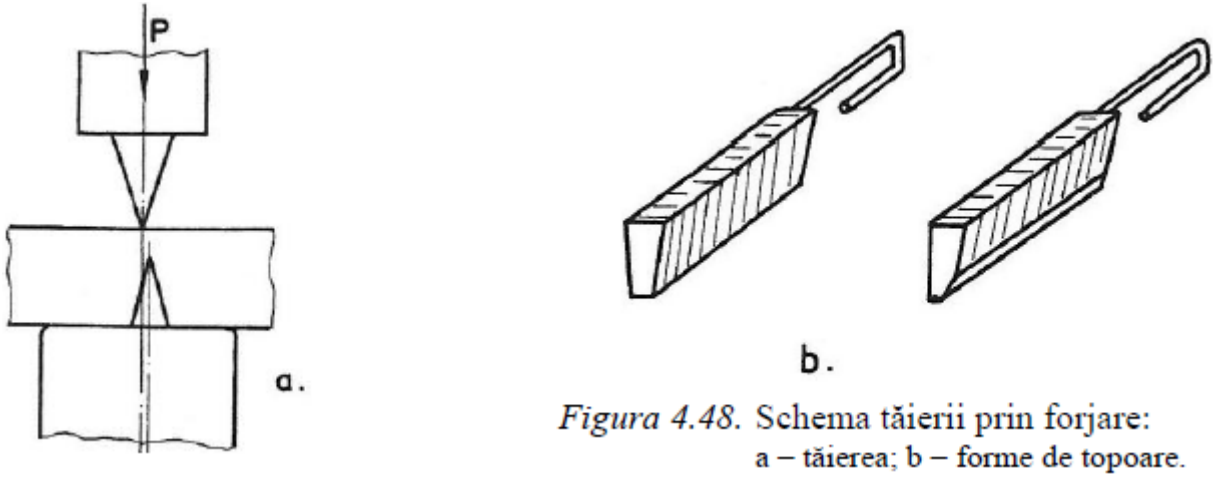


Figura 4.48. Schema tăierii prin forjare:
a – tăierea; b – forme de topoare.

Tăierea se aplică pentru îndepărtarea capetelor, a maselotei şi piciorului lingoului, ca şi pentru separarea unui semifabricat lung în mai multe semifabricate scurte.

Îndoirea prin forjare. Este operaţiunea prin care se schimbă linia axei piesei şi poate fi aplicată ca operaţie unică sau într-un complex de operaţii, *Figura 4.49*.

Prin această operaţie se fabrică echere, cârlige forjate, scoabe, braţe etc.

La îndoire se produce modificarea secţiunii transversale a semifabricatului iniţial la cotul îndoirii, micşorându-se datorită tensiunilor de tracţiune. Din aceste motive cotul îndoirii se îngroaşă înainte de îndoirea propriu-zisă. În proces se pot forma cute pe partea comprimată x faţă de axa neutră O-O şi crăpături în partea întinsă y. Pentru evitarea acestor efecte se procedează la determinarea sau alegerea corespunzătoare a unghiului de îndoire sau a razei de îndoire.

Forjarea liberă

Operaţiile forjării libere

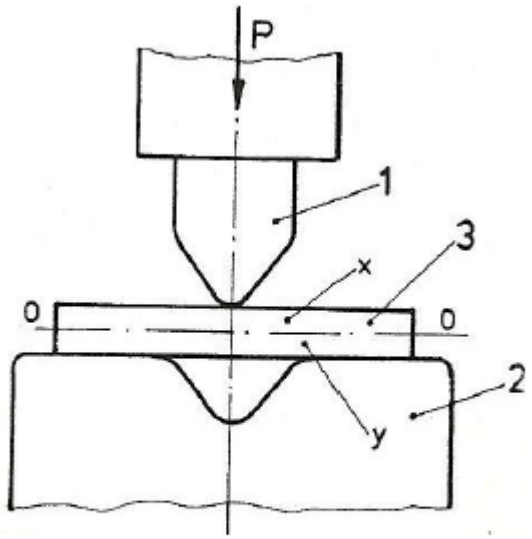


Figura 4.49. Schema îndoirii:
1 – poanson; 2 – nicovală;
3 – semifabricat.

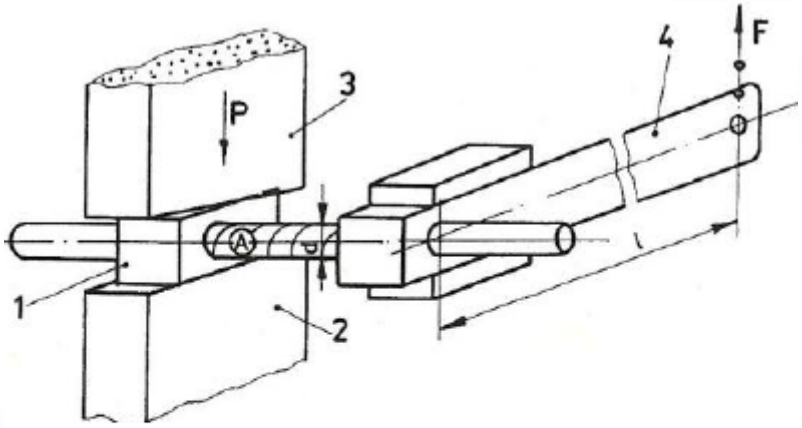


Figura 4.50. Răsucirea unui cot de arbore cotit:
1 – primul cot; 2 – nicovală;
3 – berbec; 4 – cheie de rotire.

Răsucirea. Este operaţia prin care detalii forjate anterior în plan, sunt orientate diferit în spaţiu prin răsucirea tronsonului intermediar, *Figura 4.50*.

În procesul de răsucire tronsonul A se poate umfla şi scurta, datorită stării de tensiuni şi deformaţii. Pentru evitarea fisurării, încălzirea trebuie făcută corect şi unghiul de răsucire să fie sub cel admis de deformabilitatea materialului. Este operaţie finală şi de regulă pentru înlăturarea tensiunilor se aplică recoaceri de detensionare.

Forţa de răsucire necesară F, conform *Figurii 4.50*, se face cu relaţia:

$$F = \frac{M_r}{l} \text{ cu } M_r = W \cdot \sigma_r \qquad (4.100)$$

în care: M_r este momentul de răsucire;
W – modulul de rezistenţă;
σ_r – rezistenţa de rupere a materialului la temperatura de lucru;
l – lungimea braţului sau pârghiei de răsucire.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Utilajele forjării

Forjarea liberă sau în matriţă se execută pe utilaje mecanice specializate: ciocane mecanice şi prese hidraulice.

Ciocanele de forjă sunt utilaje dinamice, durata deformării prin şoc fiind de ordinul miimilor de secundă. Metalul se deformează pe seama energiei dezvoltată de berbec sau echipamentul mobil al ciocanului şi prin urmare, reuşita deformării va depinde, în principal, de greutatea sau masa părţii căzătoare a utilajului.

O parte din această energie se pierde în deformaţia elastică a sculelor şi oscilaţiile şabotei, pe care se montează nicovalele sau matriţele. Cu cât este mai mare masa şabotei, cu atât este mai ridicat randamentul ciocanului, practic masa şabotei este de 15 ori mai mare decât masa părţii căzătoare, pentru a se obţine un randament $\eta = 0{,}8 \div 0{,}9$.

Ciocanele de forjă, alături de presele hidraulice de forjă, formează dotarea secţiilor de forjă, astfel:

- ciocanele pneumatice (cu simplu şi cu dublu efect) se folosesc pentru forjări uşoare de piese mici şi mijlocii;
- ciocanele cu aburi sau aer comprimat de la sursă (cu simplu şi mai ales cu dublu efect) se folosesc pentru piese mijlocii şi mari;
- presele mecanice cu fricţiune se folosesc pentru piese mici şi serie mică;
- presele cu excentric se folosesc pentru debavurări (la matriţare);
- presele hidraulice sunt folosite pentru forjarea de piese mari şi foarte mari.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

În continuare, se trec în revistă câteva scheme constructiv funcţionale de utilaje de forjare.

Ciocanele pneumatice cu simplă şi dublă acţiune, sunt foarte răspândite pentru forjarea liberă, greutatea berbecului nedepăşind 1000 daN, presiunea aerului din cilindrul compresor variază între 0,6 şi 3 daN/cm^2. În *Figura 4.51* se dă schema ciocanului pneumatic cu autocompresie cu dublu efect de fabricaţie românească.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Utilajele forjării

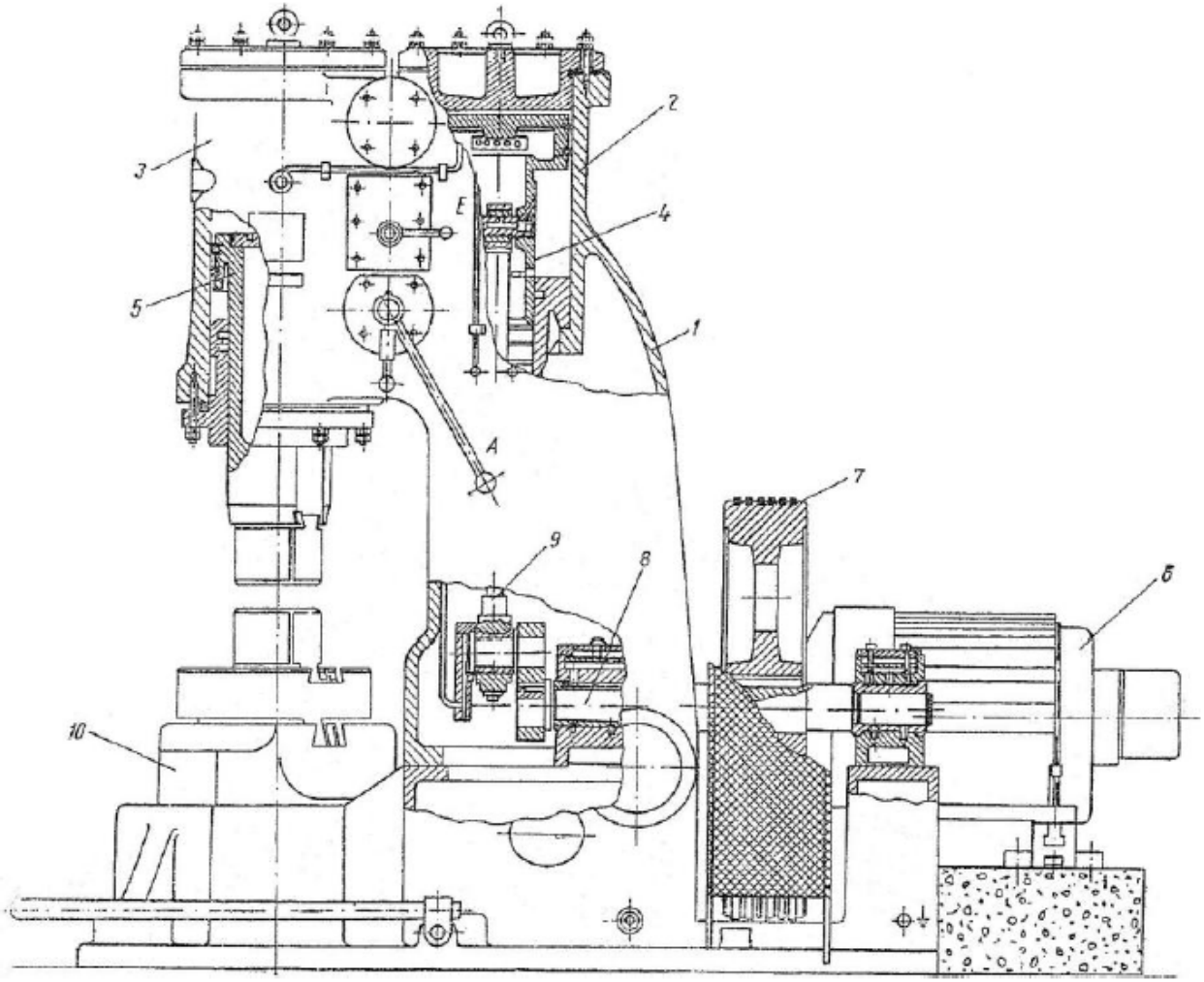


Figura 4.51. Ciocan pneumatic cu autocompresie:
1 – batiu; 2 – cilindru compresor; 3 – cilindru de lucru; 4 – piston compresor; 5 – piston de lucru;
6 – motor electric; 7 – transmisie cu curele; 8 – arbore cu manivelă; 9 – bielă; 10 – şabotă.

Comanda ciocanului se realizează prin trei robinete, acţionate la rândul lor prin intermediul a două manete, notate în *Figura 4.51* cu A şi E. Maneta A roteşte robinetul inferior şi superior, iar maneta E pe cel mediu.

Ciocanele cu autocompresie au următoarele moduri de funcţionare: cu lovituri repetate, menţinerea berbecului în poziţie ridicat; presarea semifabricatului; lovituri individuale, mers în gol.

În *Figura 4.52* sunt arătate poziţiile distribuitoarelor pentru diferite moduri de lucru ale ciocanului.

În continuare se arată (*Figura 4.53*) poziţiile pistoanelor compresor şi de lucru în funcţie de unghiul de rotire al arborelui manivelă pentru funcţionarea ciocanului *cu lovituri repetate*.

În *Figura 4.53(a)* se arată poziţia de plecare a celor două pistoane ($\alpha_0 = 0^o$). În această poziţie spaţiul superior şi cel inferior al cilindrului compresor comunică cu atmosfera datorită orificiilor practicate în pereţii cilindrului şi pistonului compresor. În aceleaşi spaţii ale cilindrului de lucru există tot presiunea atmosferică întrucât cei doi cilindri comunică total.

În *Figura 4.53(b)* se arată poziţia pistoanelor când arborele cu manivelă s-a rotit de la unghiul α_0 la α_1. În momentul în care arborele cu manivelă s-a rotit cu unghiul α_1 presiunea din spaţiul inferior se măreşte suficient de mult, ca să învingă rezistenţa aerului din spaţiul superior al cilindrilor, greutatea berbecului şi forţele de frecare, iar berbecul se desprinde de pe nicovală şi începe să se deplaseze în sus.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

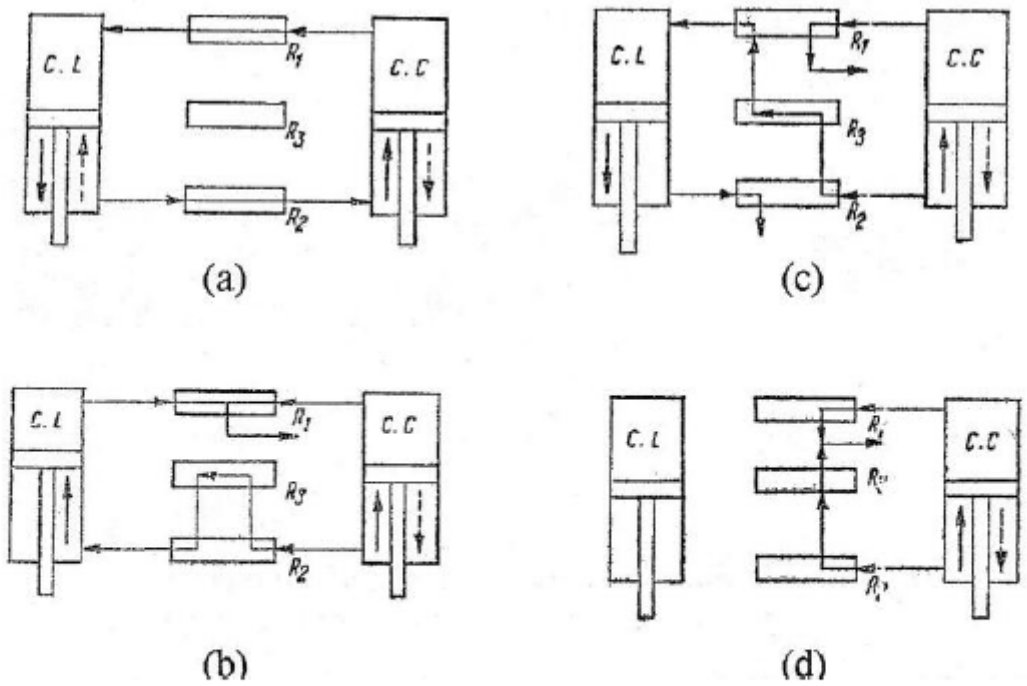


Figura 4.52. Distribuţia ciocanului pneumatic cu autocompresie:
(a) – funcţionare cu lovituri repetate; (b) – menţinerea berbecului în poziţie ridicat;
(c) – menţinerea berbecului în poziţia presat pe semifabricat; (d) – mers în gol.
CL şi CC – cilindru de lucru şi compresor; R_1, R_2, R_3 – robinet superior, inferior, mediu.

La rotirea arborelui cu manivelă de la unghiul α_1 la $\alpha_2 = 180^o$, *Figura 4.53(c)*, pistonul compresor continuă să coboare, iar cel de lucru urcă. Spaţiul superior al cilindrului compresor, comunică total cu atmosfera prin orificiile practicate în pereţii laterali ai pistonului şi pereţii cilindrului. La rotirea arborelui cu manivelă de la unghiul α_2 la α_3, *Figura 4.53(d)*, ambele pistoane urcă. Pistonul de lucru, la unghiul α_3 închide canalul de legătură cu cilindrul compresor şi intră în tamponul superior, format de aerul închis aici.

Pistonul de lucru îşi continuă mişcarea în sus în tampon corespunzător rotirii arborelui cu manivelă de la unghiul α_3 la α_4, *Figura 4.53(e)*, când se opreşte şi începe sub acţiunea tamponului, să coboare. Pistonul compresor îşi continuă deplasarea în sus.

Spaţiul superior al cilindrului compresor, va avea o presiune diferită de cea din tampon, întrucât legătura lui cu spaţiul superior din cilindrul de lucru este întreruptă. Spaţiile inferioare ale cilindrilor compresor şi de lucru continuă să rămână în legătură unul cu altul, iar presiunea aici va scădea, deoarece volumul total se micşorează (aceasta numai în intervalul $\alpha_3 \div \alpha_4$).

La rotirea arborelui cu manivelă de la α_4 la α_5, *Figura 4.53(f)*, pistonul de lucru coboară, iar pistonul compresor urcă. Unghiul α_5 marchează „ieşirea" pistonului de lucru din tampon.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

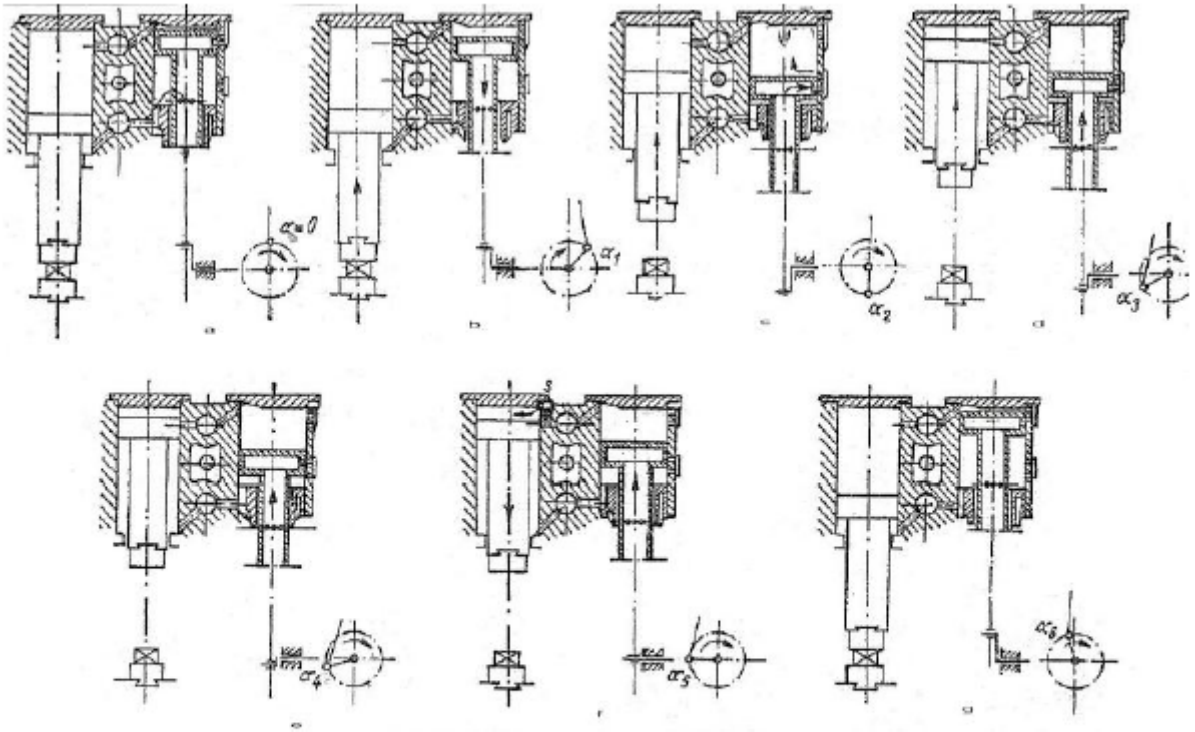


Figura 4.53. Modul de funcţionare cu lovituri repetate a ciocanului pneumatic cu autocompresie.

Comunicarea tamponului superior cu spaţiul superior al cilindrului compresor, se realizează prin supapa s, în momentul în care presiunea aerului din tampon (care se micşorează prin ieşirea pistonului de lucru din tampon) devine egală cu presiunea, în creştere, a aerului din spaţiul superior al cilindrului compresor. Legătura dintre spaţiile superioare ale celor doi cilindri se face prin ridicarea bilei supapei sub acţiunea presiunii aerului din cilindrul compresor. Momentul decuplării tamponului se produce ceva mai repede ca muchia superioară a pistonului de lucru, să coincidă cu muchia superioară a canalului superior, de legătură între cilindri. La depăşirea unghiului α_5 pistonul compresor se apropie de poziţia sa superioară maximă, iar cel de lucru de cea inferioară.

În intervalul $\alpha_5 \div \alpha_6$, *Figura 4.53(g)*, pistonul compresor mai urcă puţin, iar cel de lucru coboară. La unghiul $\alpha_6 < 360^o$ pistonul de lucru (berbecul) realizează lovitura, iar pistonul compresor ajunge în poziţia superioară. Berbecul rămâne pe piesă în intervalul $\alpha_6 \div \alpha_1$.

La reînceperea unui ciclu de rotaţie a arborelui cu manivelă, mişcarea pistoanelor se repetă.

Dacă din ciclul de funcţionare al unui ciocan pneumatic lipseşte intervalul $\alpha_6 \div \alpha_1$, ciocanul lucrează prin ricoşare, iar efectul loviturii este mai mic decât în cazul anterior.

Caracteristicile tehnice ale ciocanului cu autocompresie de 63 kgf, fabricat de firma Înfrăţirea Oradea se prezintă în *Tabelul 4.6*.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

Tabelul 4.6. Caracteristicile tehnice ale ciocanului cu autocompresie de 63 kgf.

Nr. crt.	Caracteristica	Unitatea de măsură	Valoarea
1.	Masa berbecului, M	kg	63
2.	Energia maximă de lovire, $E_{c_{max}}$	N·m	1000
3.	Numărul de lovituri pe minut, n_l	-	220
4.	Cursa maximă a berbecului, H_{max}	mm	340
5.	Distanţa de la axa berbecului la montant, D_g	mm	300
6.	Puterea motorului, P	kW	7,5
7.	Diametrul maxim al semifabricatului	mm	85
8.	Masa şabotei	kg	880

Ciocanele cu abur sunt cele mai răspândite utilaje în secţiile de forjă şi matriţare, întrucât sunt mai puternice, permit variaţii mari ale intensităţii de lovire şi sunt mai uşor de manevrat.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

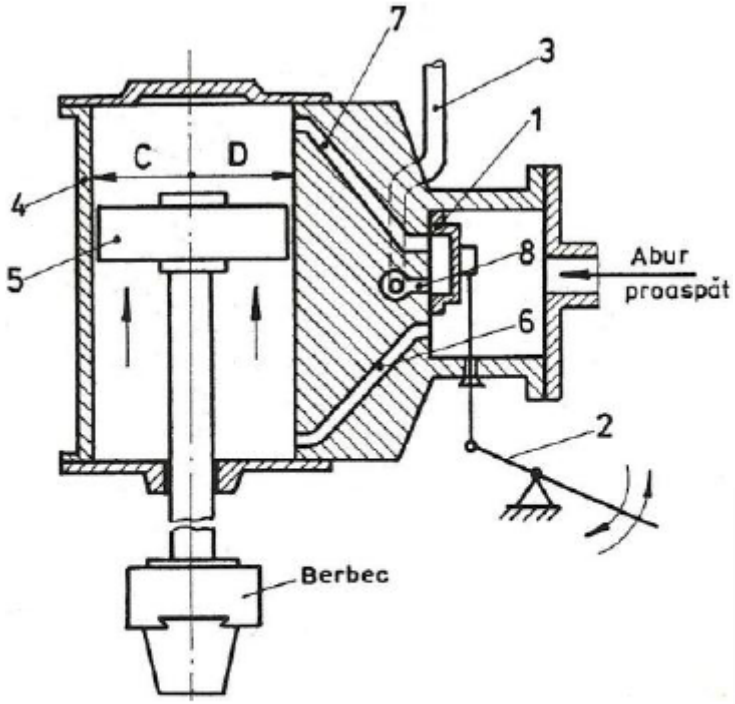


Figura 4.54. Sistemul de distribuire a aburului la un ciocan cu dublu efect:

Sunt construite cu o coloană sau cu două coloane şi de tip portal, iar după modul de lucru pot fi *cu simplu efect* (cu abur proaspăt numai pentru ridicare) şi *cu dublu efect* (cu abur proaspăt pe ambele feţe ale pistonului de lucru). Schematic, cilindrul de lucru pentru ultima variantă, se prezintă în *Figura 4.54*.

Ciocanul este acţionat de *sertăraşul 1*, acţionat la rândul său cu *pârghiile 2*. Conform poziţiei sertăraşului din *Figura 4.54*, aburul proaspăt de la sursă prin *canalul 6* intră în *spaţiul D* şi ridică *pistonul 5* în sus în timp ce aburul din *spaţiul C*, iese prin *canalele 7* şi *8* în atmosferă prin *ţeava de eşapament 3*. Pentru coborârea berbecului, sertăraşul se reglează la punctul mort inferior şi aburul proaspăt va intra prin *canalul 7* în spaţiul *C* exercitând presiunea de lucru asupra pistonului *5*, în timp ce aburul din spaţiul *D* va ieşi prin canalele *6*, *8* şi *3* în atmosferă. Mediul de acţionare este aburul la 8÷9 atmosfere sau aerul comprimat de la staţie la 6÷8 atmosfere. Restul elementelor constructive sunt identice cu cele ale ciocanului cu autocompresie.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

Presa cu fricţiune funcţionează după principiul lovirii piesei, dar şocul este suportat de cadrul închis al presei, *Figura 4.55*.

Prin forţa dezvoltată, aceste utilaje servesc la operaţii de îndoire, debavurare, calibrare, matriţare, fabricându-se buloane, nituri, piese cu guler, au o funcţionare simplă, sunt ieftine, au cursă de lucru mare, au posibilitatea schimbării uşoare a sculelor şi au o viteză de lucru destul de mare. Dezavantajul constă în faptul că se pierde multă energie prin alunecarea dintre volant şi disc.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Utilajele forjării

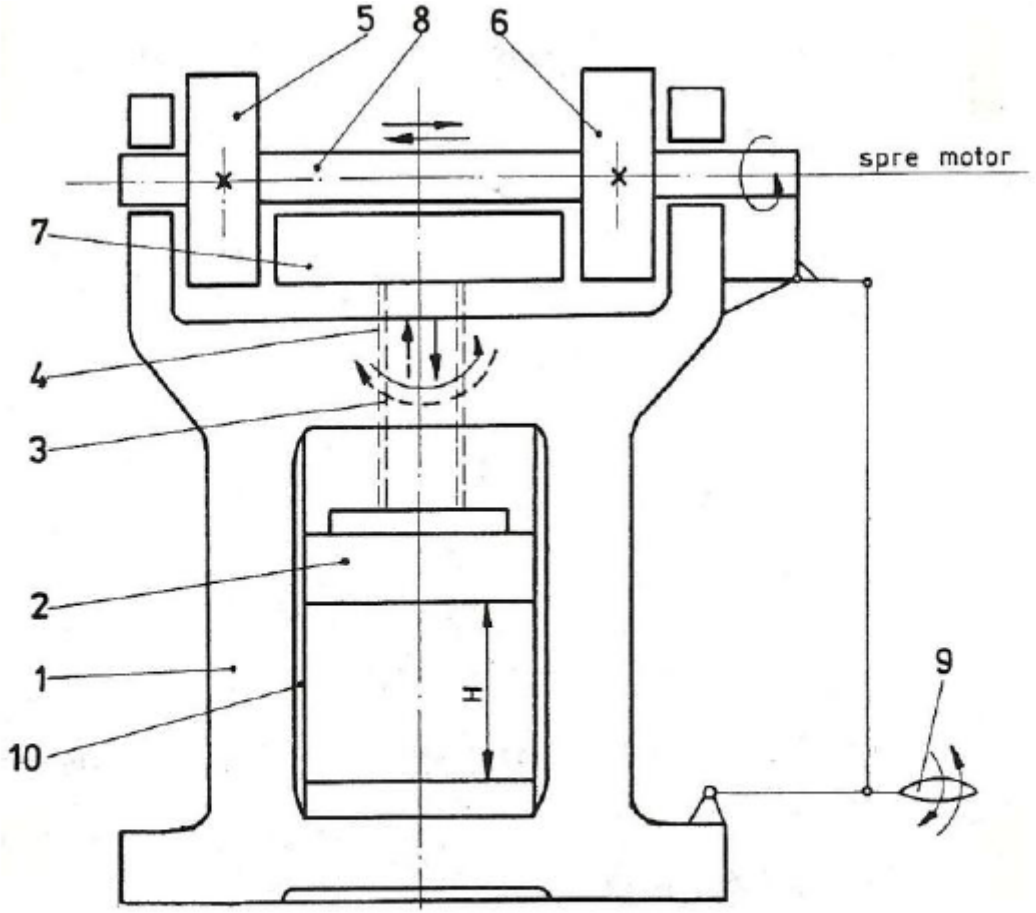


Figura 4.55. Schema unei prese cu fricţiune:
1 – batiu; 2 – berbec; 3 – şurub; 4 – piuliţă; 5, 6 – discuri verticale solidare pe ax; 7 – volant; 8 – ax motor; 9 – sistem de comandă; 10 – glisiere.

Cum *discurile 5* şi *6*, fixe pe *axul motor 8*, se rotesc mereu în acelaşi sens, realizarea cursei dute-vino a *berbecului 2* se face prin deplasarea *axului 8*, în contact alternativ a discurilor *5* şi *6* cu *volantul 7* şi prin intermediul *mecanismului de mişcare şurub-piuliţă 3-4*.

Pe măsură ce berbecul coboară viteza creşte, întrucât la turaţie constantă raza discului motor creşte spre raza maximă.

Menţinerea berbecului la punctul mort superior se face cu ajutorul unei frâne, iar volantul nu vine în contact cu nici un disc, frâna intrând în funcţiune automat.

Pentru reglarea energiei de lovire sunt prevăzute limitatoare de cursă ale patinei, cu ajutorul cărora se reglează înălţimea de cădere a patinei.

Presele hidraulice de forjă, sunt maşini cu acţiune statică, durata deformării fiind de ordinul secundelor sau zecilor de secunde.

Metalul este deformat continuu, prin forţa creată de un lichid sub presiune în cilindrul sau cilindrii de lucru ai presei, putând dezvolta forţe mari, purtătorul de energie (apa tratată sau uleiul mineral) având presiunea de 200÷400 atmosfere. Presiunea ridicată se obţine cu ajutorul pompelor de înaltă presiune (prese pur hidraulice) sau cu ajutorul multiplicatorilor de presiune. Acumulatorii cei mai răspândiţi sunt hidropneumatici. Aceste prese sunt cu două sau cu patru coloane. În *Figura 4.56* se dă schema unei prese cu două coloane.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

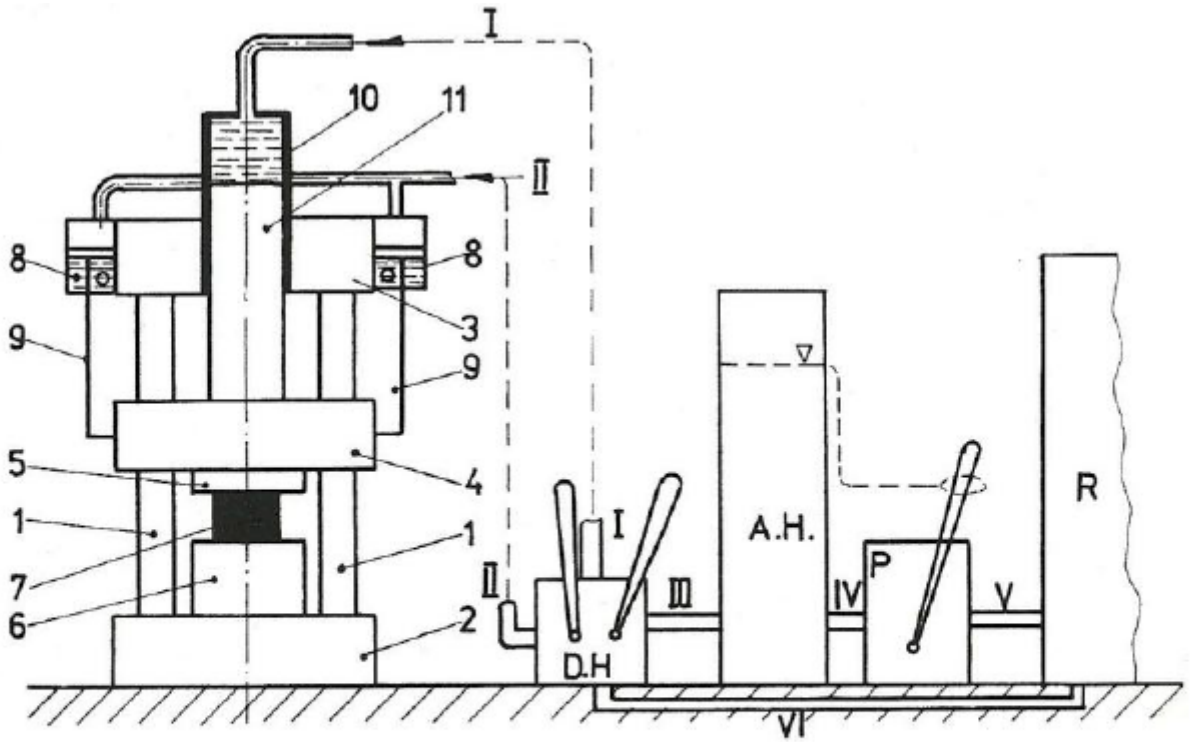


Figura 4.56. Schema unei prese hidraulice de forjă cu acumulator:
1 – coloane; 2 – traversă inferioară fixă; 3 – traversă superioară fixă; 4 – traversă mobilă (de lucru); 5 – nicovală superioară; 6 – nicovală inferioară; 7 – semifabricat; 8 – cilindri auxiliari ridicători; 9 – tijele pistoanelor ridicătoare; 10 – cilindru de lucru; 11 – piston de lucru solidar cu traversa mobilă; R – rezervor; P – pompă; AH – acumulator hidraulic; DH – distribuitor hidraulic; I÷VI – conducte.

Forjarea liberă

Utilajele forjării

În principiu, funcţionarea presei are loc astfel: lichidul din *rezervorul R* este împins cu ajutorul *pompei P* spre *acumulatorul hidraulic AH*, până când presiunea din acumulator atinge valoarea dorită, iar un întrerupător decuplează automat motorul electric al pompei. Când, datorită funcţionării presei, lichidul din acumulator scade, motorul pompei porneşte automat şi realimentează menţinând presiunea de regim. Din acumulator, cu ajutorul *distribuitorului hidraulic DH*, lichidul sub presiune este trimis la pompă după necesităţi, adică, pentru cursa de presare sau pentru cursa în gol de ridicare.

Presele hidraulice de forjă prezintă următoarele avantaje: sunt simple şi dezvoltă forţe mari, realizând deformarea metalului în profunzime;îşi păstrează parametrii forţei pe întreaga cursă de lucru; nu se pierde energie prin şoc (ca la ciocane, 20÷40% în şabotă); pistonul se poate opri în orice punct al cursei; viteza se poate regla în limite largi, dar viteza fiind mică, constituie în acelaşi timp şi un dezavantaj; nu necesită fundaţii mari ca la ciocanele de forjă; presele au un mers silenţios.

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

Procesul tehnologic de fabricare a unei piese prin forjare, cuprinde o serie de operaţii, care sunt prezentate în continuare.

Întocmirea desenului piesei brut forjate. Se bazează pe desenul de execuţie al piesei, elaborat de constructorul de maşini, la care se prevăd: adaosurile de prelucrare prin aşchiere; toleranţa de piesă forjată şi adaosurile tehnologice pentru posibilitatea realizării lucrului prin forjare, *Figura 4.57*.

Adaosurile de prelucrare prin aşchiere *2*, sunt necesare pentru a realiza prin aşchiere dimensiunile şi calitatea suprafeţei *piesei 1* şi se prevăd numai pe acele suprafeţe care se supun aşchierii. Acest adaos depinde de dimensiunile piesei forjate (cu mărirea dimensiunilor se merge de la 4 la 60 mm), de tipul utilajului şi configuraţia piesei.

Forjarea liberă

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

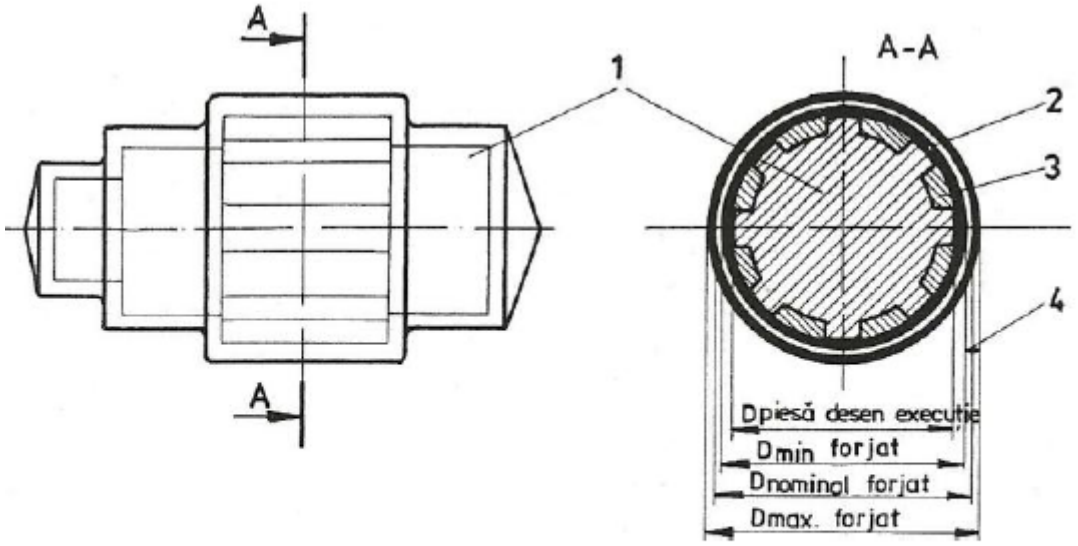


Figura 4.57. Schema piesei forjate:
1 – desen de execuţie; 2 – adaos de prelucrare prin aşchiere;
3 – adaos tehnologic de forjare; 4 – toleranţa lucrului prin forjare.

Adaosul 4, reprezintă ***toleranţa lucrului prin forjare***, $T = \frac{D_{max\ forjat} - D_{min\ forjat}}{2}$,

suplimentare la dimensiunea piesei din desenul de execuţie, plus adaosul *2*. Această toleranţă se prevede la toate dimensiunile piesei forjate (transversale şi longitudinale).

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

Adaosul tehnologic de modificare a formei sau de a face posibil lucrul prin forjare *3*, îşi joacă rolul numai în procesul de forjare, nu face parte din detaliile piesei şi prin urmare, se îndepărtează complet prin aşchiere sau tăiere.

Toate aceste adaosuri şi toleranţe sunt standardizate. De exemplu, valorile adaosurilor de prelucrare şi a toleranţelor dimensionale pentru piese din oţel forjate liber pe ciocane, se dau în STAS 2171/2-84, iar pentru piese din oţel forjate liber pe prese hidraulice se dau în patru standarde, SR 13172-x:1994, în care x=1, 2, 3 sau 4, în funcţie de tipul piesei.

Determinarea masei şi dimensiunilor semifabricatului iniţial. Se determină mai întâi masa semifabricatului de pornire, m_{sp}, care din laminat, se face cu relaţia:

$$m_{sp} = m_p + m_d + m_a + m_c + m_g + m_t \qquad (4.101)$$

în care: m_p este masa piesei brut forjate rezultată din suma maselor parţiale în care s-a descompus piesa, deci, $m_p = \sum_{i=1}^{i=n} m_{pi}$;

m_d – masa pierderilor prin debitare;

m_a – masa pierderilor prin ardere la încălzire, 1÷3% din masa semifabricatului de pornire (valori mici la încălzirea electrică, în general 1,5% pentru fiecare încălzire);

m_c – masa pierderilor prin tăierea capetelor pierdute;

m_g – masa pierderilor prin găurire (dopul de la găurire);

m_t – masa pierderilor prin adaos tehnologic de forjare.

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

În continuare, se determină dimensiunile semifabricatului iniţial şi în funcţie de operaţiile la care este supus, de exemplu, dacă produsul forjat se obţine prin întindere, atunci semifabricatul iniţial trebuie ales astfel încât să se obţină gradul de deformare dorit, cu structura corespunzătoare, în funcţie de operaţia forjării şi temperatura de lucru.

Dacă forjarea se face din lingou, atunci la alegerea lingoului se ţine cont că 14÷30% din cap (maselotă) şi 4÷7% din picior se pierde prin şutare (tăiere).

Semifabricatul ales trebuie să asigure un coroiaj de cel puţin 2,5÷3 pentru lingoul de oţel şi cel puţin 1,3÷1,5 pentru semifabricate laminate.

Alegerea succesiunii operaţiilor forjării. Orice proces tehnologic de forjare liberă este alcătuit dintr-o combinaţie logică a operaţiilor de bază: refularea, întinderea, găurirea, îndoirea, răsucirea, sudarea etc. Tipul operaţiilor, numărul de operaţii şi succesiunea lor se alege în funcţie de configuraţia piesei şi condiţiile tehnologice, ca şi de tipul semifabricatului (lingou sau laminat).

Pentru exemplificare, în *Figura 4.58*, se prezintă fabricarea prin forjare liberă pe o presă hidraulică a unui cilindru gros din lingou de oţel.

Forjarea liberă

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

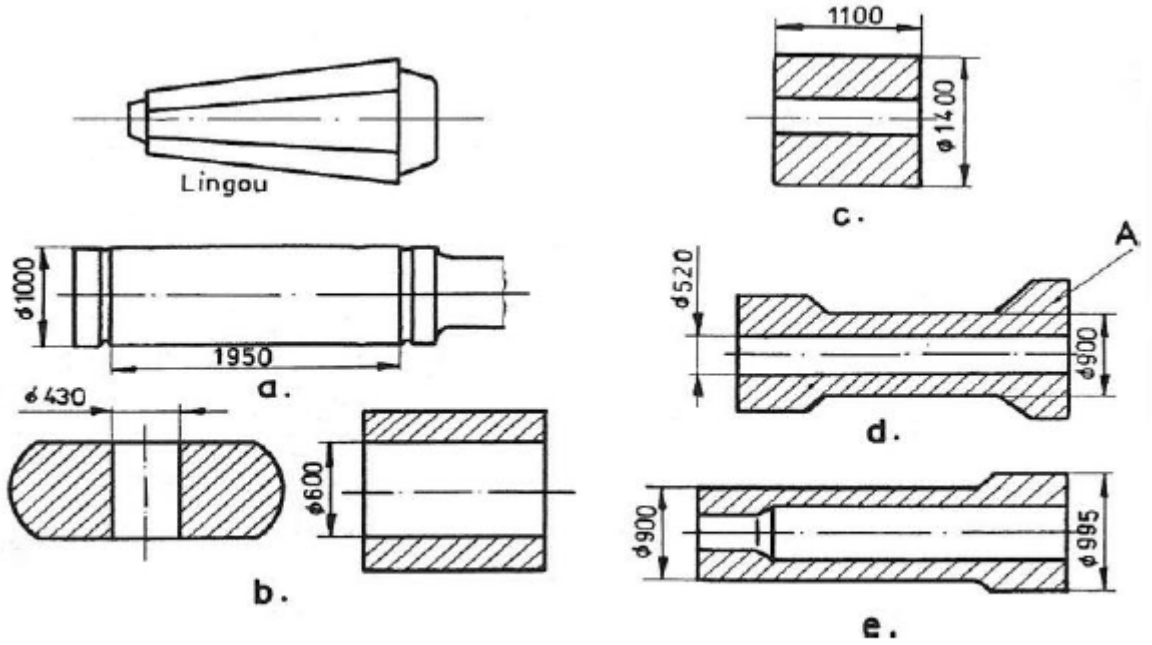


Figura 4.58. Succesiunea operaţiilor forjării unui cilindru din lingou.

Cilindrul se fabrică din oţel carbon, semifabricatul iniţial fiind un lingou cu masa de 18 tone, hexagonal, (tipic pentru forjare). După prima încălzire, se întinde maselota la dimensiunile capului de prindere şi întregul lingou la diametrul de 1000 mm şi se taie capul şi piciorul lingoului, *Figura 4.58(a)*. După a doua încălzire, se execută refularea, găurirea şi lărgirea pe dorn, *Figura 4.58(b)*. După a treia încălzire, se execută ajustarea pe bară şi alungirea la 1100 mm, *Figura 4.58(c)*. După a patra încălzire, se execută forjarea de ajustare pe bară şi întinderea părţii de mijloc la diametrul de 900 mm, *Figura 4.58(d)*. După a cincia încălzire (cu încălzirea capătului A) se formează numai acest capăt, *Figura 4.58(e)*.

Forjarea liberă

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

Alegerea utilajului forjării. Utilajul se va alege în funcţie de regimul de forjare al metalului sau aliajului, de masa produsului forjat şi de configuraţia acestuia. Puterea utilajului, necesară în procesul deformării, cu luarea în considerare a siguranţei în funcţionare, se determină fie după formule aproximative, fie după tabele şi nomograme date în literatura tehnică de specialitate.

Alegerea şi stabilirea sculelor pentru forjare, se face pentru fiecare operaţie în parte, apelându-se la sculele universale şi normalizate din inventarul secţiei şi tipului de utilaj.

Stabilirea regimului de încălzire şi răcire a piesei (v. paragraful 4.2).

Fixarea normei de timp, se determină după normativele în vigoare.

Stabilirea operaţiilor suplimentare: control; alte prelucrări etc. Reuşita alcătuirii unui proces tehnologic de forjare liberă este strâns legată şi de tehnologicitatea piesei de forjat. În acest sens, în *Figura 4.59* se dau câteva recomandări.

Forjarea liberă

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

Piesele forjate liber trebuie să posede o formă simplă şi să fie mărginită de suprafeţe plane şi cilindrice, *Figura 4.59(a)*. Trebuie eliminate suprafeţele conice, înclinate, intersecţii de cilindri sau de cilindri cu prisme, *Figura 4.59(b)*. De pe suprafeţele pieselor trebuie eliminate nervurile, bosajele, canelurile etc., care în majoritatea cazurilor sunt imposibil de realizat prin forjare liberă. De regulă, aceste detalii se îmbracă în adaosuri tehnologice, urmând a fi executate prin aşchiere. De asemenea, configuraţia piesei trebuie astfel aleasă încât să se poată uşor corela cu orientarea fibrajului rezultat prin forjare, *Figura 4.9*.

Forjarea liberă

Elemente de elaborare a procesului tehnologic de forjare liberă

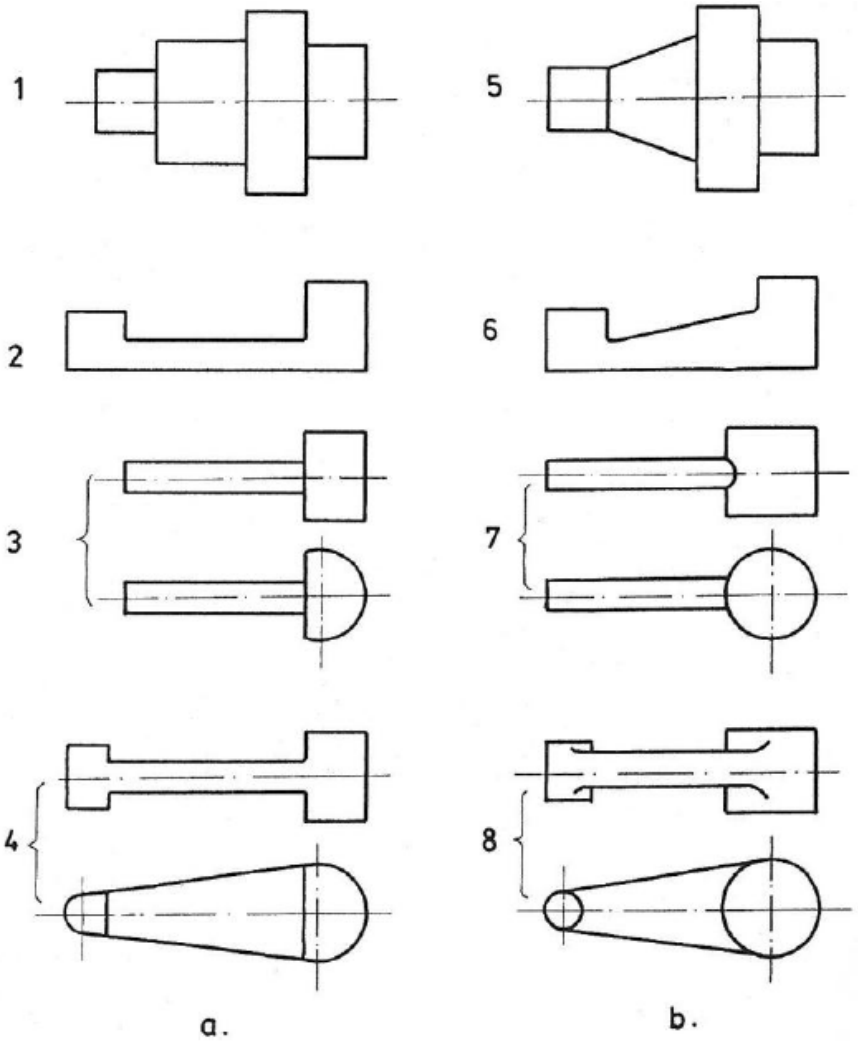


Figura 4.59. Tehnologicitatea pieselor forjate după formă:
a – forme recomandate; b – forme nerecomandate.

Forjarea liberă

Particularităţile forjării oţelurilor aliate şi metalelor neferoase

Oţelurile aliate prin forjare se ecruisează puternic, de unde forjarea lor se recomandă a se executa mai lent, respectiv pe prese şi nu pe ciocane. Datorită vitezei de deformare mici a presei, procesele de restaurare şi recristalizare se desăvârşesc şi ecruisarea scade din valoare (adică în proces, ecruisarea este tot timpul anihilată, atenuată).

Pentru fiecare marcă de oţel trebuie ales un coroiaj corespunzător, alcătuit dintr-un număr suficient şi nepericulos de coroiaje parţiale.

Datorită plasticităţii scăzute a oţelurilor aliate, se vor executa acele operaţii de deformare plastică şi cu acele tipuri de scule, care să nu provoace în proces stări tensionale cu componente de tracţiune, iar aceasta cu atât mai mult cu cât se forjează semifabricate turnate, care au din solidificare primară o structură fragilă.

Ultima observaţie este perfect valabilă şi pentru toate aliajele de aluminiu.

Astfel, pentru **aliajele de aluminiu** cu plasticitate scăzută, forjarea se face numai din semifabricate laminate.

În general, **aliajele** de aluminiu, ca şi cele **de magneziu**, cu plasticitate scăzută se forjează pe prese şi cu scule profilate (nu plan-paralele).

Particularităţile forjării oţelurilor aliate şi metalelor neferoase

Pentru aliajele de aluminiu şi de magneziu cu o bună plasticitate, forjarea se poate face fără pericol atât pe ciocane cât mai ales pe prese hidraulice, chiar şi pentru unele piese importante.

Aliajele cuprului (alamele şi bronzurile), chiar din grupa celor deformabile, au o plasticitate scăzută şi prin urmare, forjarea trebuie făcută cu precauţii, fără ca starea de tensiuni creată să cuprindă tensiuni de tracţiune.

Titanul şi aliajele de titan au o foarte bună plasticitate şi se pot forja prin toate procedeele. Dificultăţi apar totuşi la forjarea dinamică pe ciocane când plasticitatea se înrăutăţeşte în cursul procesului de deformare.

Aliajele de titan greu deformabile se forjează lent şi cu scule profilate.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea liberă

Mecanizarea în forjă

În secţiile de forjă condiţiile de muncă sunt grele şi productivitatea scăzută. Pe de altă parte, semifabricatele masive nici nu pot fi manevrate manual.

Pentru introducerea şi scoaterea lingourilor şi pieselor grele din cuptor, în afară de podurile rulante (poduri de forjare) şi macarale în consolă, sunt folosite şi alte tipuri specifice de maşini de deservire.

Forjarea pe ciocane şi prese se poate mecaniza cu ajutorul diferitelor macarale, răsturnătoare şi manipulatoare.

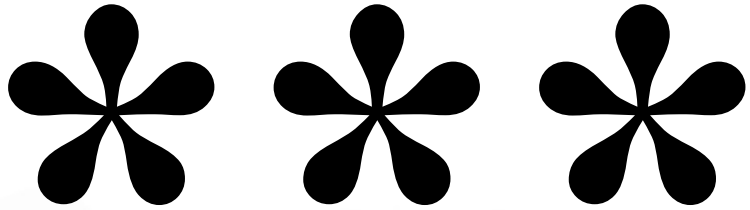
Obişnuit, ciocanele sunt deservite de macarale în consolă cu braţ rotitor, iar presele de poduri rulante.

Răsturnătoarele sunt mecanisme prinse în cârligul macaralei şi folosesc pentru răsucirea semifabricatului în proces (roţi cu lanţ, furci etc.).

Manipulatoarele sunt autonome, pe căi cu şine sau pe pneuri. Acestea sunt acţionate electric sau hidraulic pentru apucarea, strângerea şi deplasarea semifabricatului în proces. Semifabricatul poate fi astfel rotit în jurul axei longitudinale, deplasat în sus şi în jos, iar unele pot roti semifabricatul şi în jurul unei axe verticale. Au capacitatea de până la 120 tone.

În ultima vreme s-a trecut şi la automatizarea lucrului prin forjare, comanda presei şi manipulatorului fiind făcută de un calculator de proces pe baza unui soft specializat.

Pentru creşterea preciziei pieselor forjate, se utilizează celule fotoelecrice, mărci cu izotopi radioactivi care delimitează poziţia organului, sculei de lucru în momentul sau faza finală de forjare.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

- **Matriţarea la cald a materialelor metalice**

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Forjarea este procedeul de deformare plastică la cald a materialelor metalice şi cunoaşte variantele: forjare liberă, manuală sau mecanică şi forjare în matriţă.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice

Este metoda de prelucrare prin care semifabricatul încălzit pentru deformare plastică se deformează cu ajutorul unor scule specializate numite matriţe, *Figura 4.5(e)*. Metalul curge îngrădit de suprafeţele cavităţii (găurii) matriţelor, iar la sfârşitul deformării, respectiv la închiderea matriţelor pe planul de separaţie, piesa este gata, aşa cum s-a reuşit să se umple această cavitate.

Ca semifabricate pentru matriţare, în majoritatea cazurilor, se folosesc laminate de secţiune rotundă, pătrată, dreptunghiulară sau cu profil periodic.

Din laminate se taie în bucăţi semifabricatul necesar, prin diverse metode cum sunt: forfecare pe prese, tăiere prin retezare cu freze disc, tăiere termică etc.

Comparativ cu forjarea liberă, matriţarea prezintă următoarele avantaje:

- se pot obţine piese de configuraţie complexă, fără adaosuri de modificare a formei;
- adaosurile de prelucrare prin matriţare sunt de 3÷4 ori mai mici decât la forjarea liberă;
- se supun prelucrării numai suprafeţele în contact funcţional cu alte piese, iar aceasta numai de finisare;
- productivitatea matriţării este superioară, de zeci şi sute de piese pe oră.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

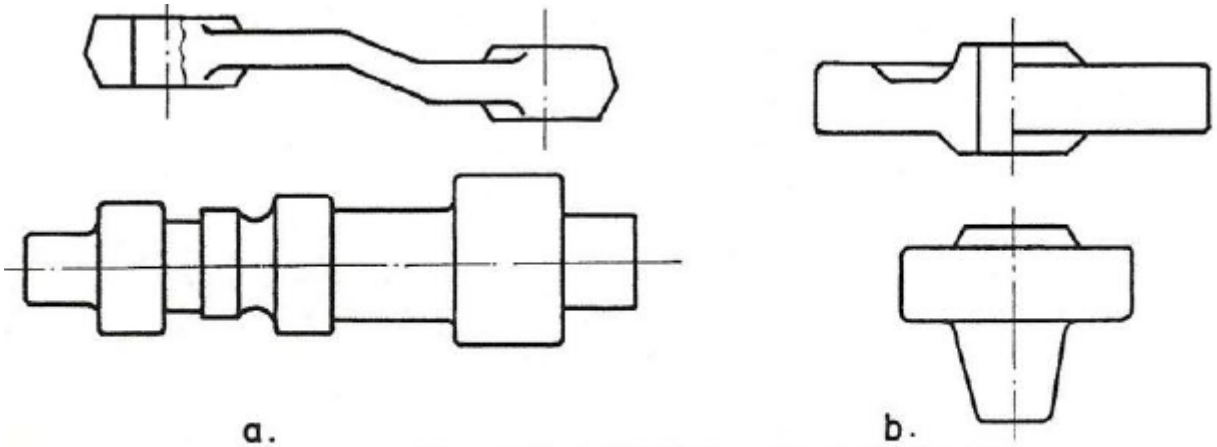


Figura 4.60. Piese matriţate:
a – lungi; b – scurte.

Totuşi matriţarea prezintă şi unele dificultăţi:

- matriţele sunt scumpe;
- setul de matriţe este specializat pentru un singur tip de piesă după formă şi dimensiuni şi prin urmare, matriţarea se recomandă totodată pentru un lot de piese de acelaşi fel;
- pentru acelaşi produs (piesă), forţele necesare la matriţare sunt mai mari decât la forjarea liberă;
- piese cu masa de câteva sute de kilograme sunt deja considerate mari, în general matriţându-se piese cu masa de 20÷30 Kg şi numai în condiţii speciale cu masa de până la 3 tone.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice

Prin matriţare se fabrică piese metalice pentru maşini de mare importanţă, cum sunt, pentru automobile, tractoare, maşini agricole, avioane, vagoane de cale ferată, maşini unelte şi altele.

După formă şi configuraţie, piesele matriţate sunt diverse şi se împart în mai multe grupe: drepte, curbe, în trepte, pahar etc.

O primă departajare se face în două grupe:

- cu axă lungă, comparativ cu secţiunea transversală, *Figura 4.60(a)*;
- cu axă scurtă şi factor geometric de gabarit apropiat de forma pătratică, *Figura 4.60(b)*.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Metode de matriţare

În funcţie de configuraţia piesei şi modul de umplere a cavităţii matriţei, se deosebesc două metode fundamentale de matriţare:

- matriţarea deschisă sau cu canal de bavură;
- matriţarea închisă sau fără canal de bavură, zisă şi matriţare de precizie.

Matriţarea deschisă, *Figura 4.61*, este caracterizată de existenţa în planul de separaţie, pe conturul piesei în acest plan, a unui canal special (adiacent cavităţii active a piesei) în care în final trece surplusul de metal, canal în care se formează bavura piesei şi numit ***canal de bavură***, cu rolul însă în primul rând de a asigura umplerea corespunzătoare a matriţelor.

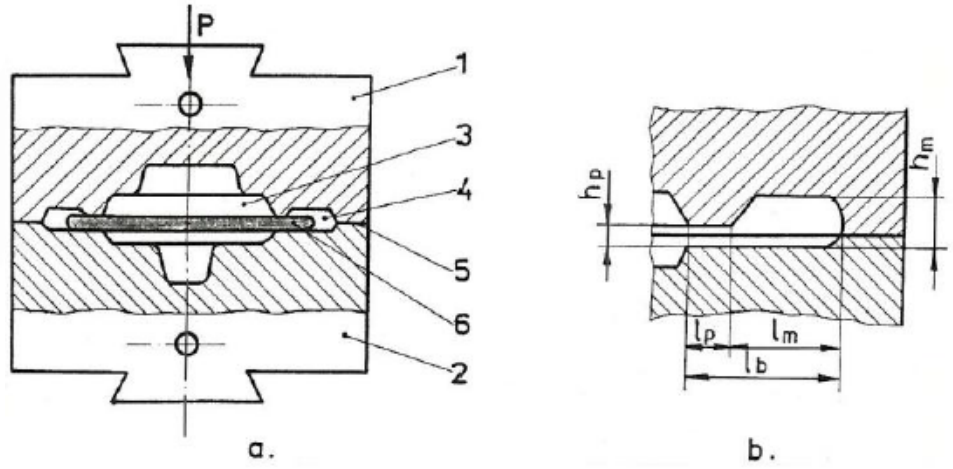


Figura 4.61. Schema matriţării deschise:
a – setul matriţelor cu piesa matriţată; b – canalul de bavură; 1, 2 – semimatriţe; 3 – piesa (cavitatea activă); 4– canalul de bavură; 5– planul de separaţie; 6– bavura.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Metode de matriţare

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Metode de matriţare

Acest lucru se realizează prin construcţie specială a canalului de bavură cu două compartimente: *puntiţa*, de secţiune $l_p \times h_p$ şi *magazia*, de secţiune $l_m \times h_m$. În procesul de matriţare, de apropiere a celor două matriţe, metalul pătrunde la un moment dat în jocul creat de puntiţă şi inelul astfel format răcindu-se, duce la creşterea rezistenţei metalului şi obligă restul de semifabricat, mai cald, să curgă în interiorul matriţei. Acest proces de curgere se desfăşoară până la umplerea completă a cavităţii active, după care dacă matriţele nu s-au închis pe planul de separaţie, surplusul de metal, datorită incompresibilităţii în cavitate, prin extrudare (eşapare) prin puntiţă trece în compartimentul magaziei canalului de bavură şi se realizează astfel precizia piesei la masa dorită. Pentru reuşită, trebuie ca surplusul de metal să nu umple decât 0,6÷0,7 din volumul canalului de bavură, iar înălţimea puntiţei canalului de bavură trebuie bine determinată. În general, înălţimea puntiţei h_p, se calculează cu relaţia:

$$h_p = 0{,}015\sqrt{A_p}\ , \qquad (4.102)$$

în care A_p este aria suprafeţei piesei, în planul de separaţie.

Pentru centrarea matriţelor se folosesc praguri sau bolţuri, ultimele sunt de preferat ca fiind mai uşor de executat (bolţul în semimatriţa inferioară, iar alezajul în semimatriţa superioară).

Această metodă a matriţării deschise, este universală, se pot fabrica tot felul de piese.

Matriţarea închisă, *Figura 4.62*, se caracterizează prin faptul că jocul dintre semimatriţe este foarte mic (impropriu naşterii bavurii) şi cavitatea activă rămâne tot timpul închisă în proces.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Metode de matriţare

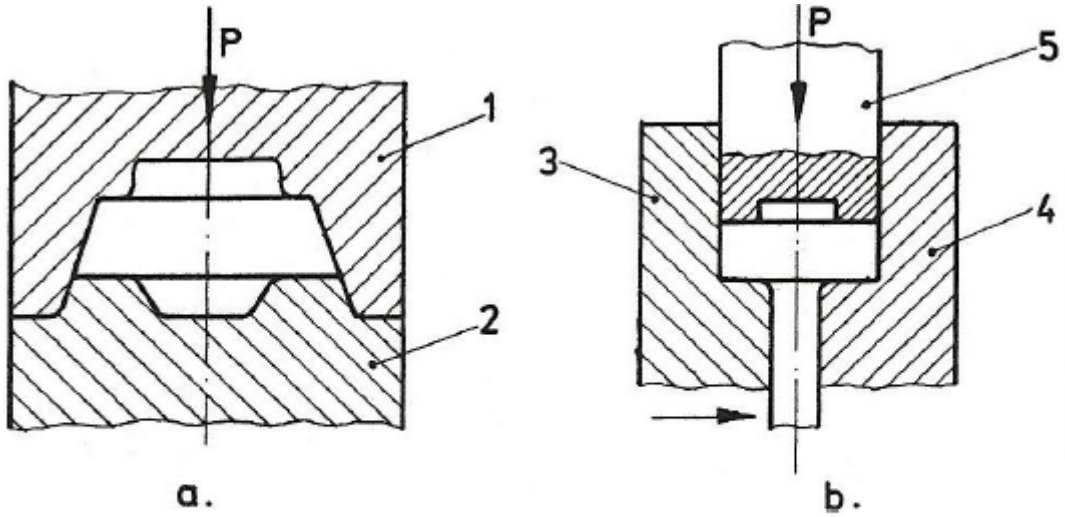


Figura 4.62. Scheme de matriţare închisă:
a – din două semimatriţe; b – din trei părţi;
1, 2, 3, 4 – semimatriţe; 5 – poanson de închidere.

Tipul constructiv al matriţelor pentru matriţarea închisă depinde şi de utilajul deformant (ciocane, prese, maşini speciale).

De mare importanţă în acest caz este determinarea volumului semifabricatului iniţial, întrucât, dacă este mai mic decât cel necesar piesa nu rezultă cu toate detaliile şi nici la dimensiuni, iar dacă este prea mare, matriţele nu se mai închid şi piesa rezultă supradimensionată, iar în utilajele reglate la cursă fixă (prese cu excentric) apare pericolul deteriorării presei sau matriţei. Prin urmare, metoda debitării semifabricatului iniţial, trebuie să fie de mare precizie.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Metode de matriţare

Prin această metodă se fabrică mai ales piese de tipul scurt, *Figura 4.60(b)*.

Dacă metoda se pune la punct, atunci prezintă deosebite avantaje:

- se micşorează pierderea de metal (lipseşte bavura);
- piesele au o macrostructură, respectiv un fibraj bine orientat pe conturul piesei şi care nu mai este întrerupt la secţiunea de tăiere a bavurii;
- în proces se creează stări de tensiune de compresiune tridimensională de mare intensitate, ceea ce face posibilă matriţarea chiar şi a unor materiale greu deformabile.

Schema procesului tehnologic de matriţare depinde în principal de configuraţia şi dimensiunile piesei de fabricat. După desenul de execuţie al piesei se determină astfel desenul de piesă matriţată. Această problemă se rezolvă şi ţinând cont de metoda de matriţare aleasă (deschisă sau închisă).

În cazul matriţării deschise:

- în primul rând trebuie cu mare atenţie ales *planul de separaţie*, respectiv planul de închidere a celor două matriţe. Obişnuit, acest plan este unic şi pe cât posibil de simetrie şi trebuie să asigure extragerea uşoară a pieselor din matriţă. De asemenea, pentru umplerea uşoară, planul de separaţie trebuie astfel ales, încât adâncimea cavităţii în semimatriţe să fie minimă. În procesul matriţării, este posibilă deplasarea la planul de separaţie şi pentru a efectua cu uşurinţă acest control, planul de separaţie trebuie să se intersecteze cu o axă verticală, *Figura 4.63*;

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice
Elemente de proiectare a piesei matriţate

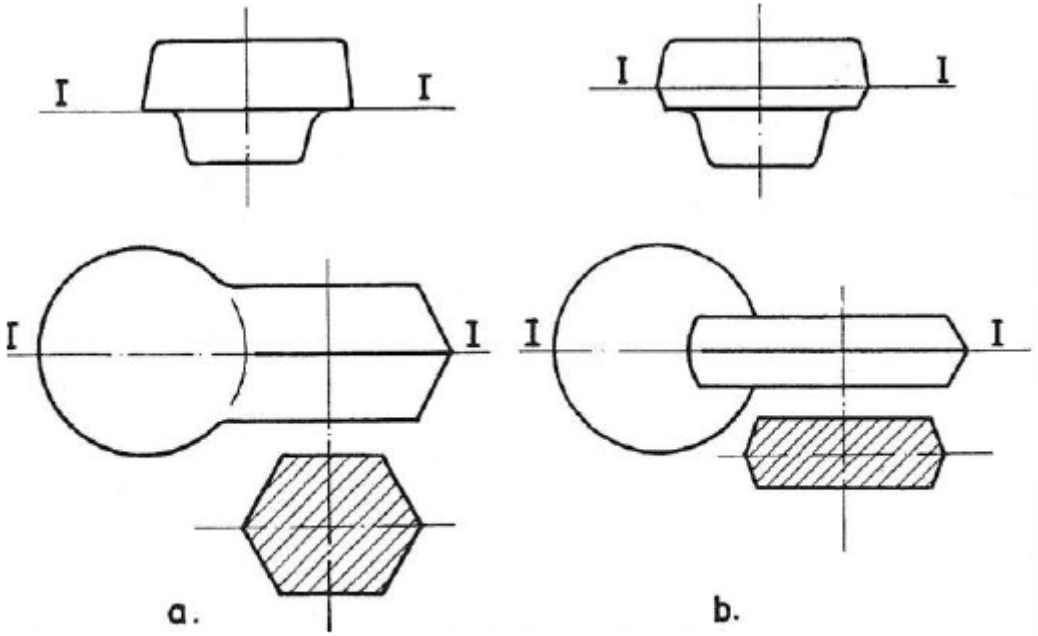


Figura 4.63. Scheme de alegere a planului de separaţie:
a – nerecomandate; b – recomandate; I-I – planul de separaţie.

• *adaosurile pentru prelucrarea mecanică* se prevăd numai pe suprafeţele în contact funcţional cu altele. Aceste adaosuri de prelucrare, ca şi toleranţele lucrului prin matriţare, depind de gabaritul şi masa piesei, de tipul utilajului (ciocane, prese etc.), de calitatea suprafeţei piesei şi sunt standardizate în STAS 7670-83;

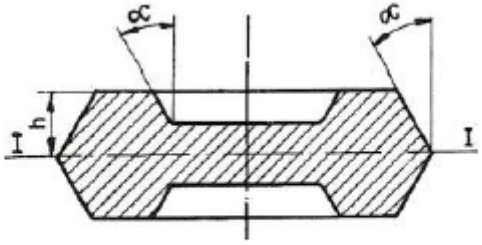


Figura 4.64. Înclinări la o piesă matriţată.

• pentru umplerea uşoară a cavităţii, ca şi pentru extragerea uşoară din matriţă, se prevăd *înclinaţii de matriţare* pe direcţii perpendiculare pe planul de separaţie, care dacă nu intră în forma constructivă a piesei, atunci se prevăd tehnologic şi înseamnă pierdere de metal şi creşte greutatea piesei forjate. Înclinările exterioare α_1, *Figura 4.64*, se aleg cu circa 30÷40% mai mici decât cele interioare α_2. În general, $\alpha_1 \leq 7°$, iar $\alpha_2 \leq 10°$.

Dacă extragerea se face mecanizat (cu extractor) atunci înclinaţiile se pot lua şi mai mici;

• toate suprafeţele care se intersectează sunt prevăzute cu *raze de racordare*. Raza de racordare asigură atât umplerea mai bună a matriţelor, dar previne totodată şi uzura prematură a gravurii matriţelor. Razele de racordare interioare sunt de 3÷4 ori mai mari decât razele de racordare exterioare. Raza minimă de racordare nu poate fi mai mică de 2 mm.

- *în cazul găurilor*, acestea nu se pot da străpunse, la nivelul planului de separaţie rămânând întotdeauna o membrană, întrucât este interzis contactul sculă pe sculă. Din acest punct de vedere, găuri sub 30 mm diametru nu se dau prin matriţare. Pentru a asigura durabilitate satisfăcătoare proeminenţelor matriţei, fragile şi mai greu solicitate în timpul deformării, adâncimea depresiunii nu trebuie să depăşească 2/3 din diametrul sau lăţimea proeminenţelor. Membranele (timpanele) de întindere mică vor avea grosimea de minimum 2,5 mm, iar cele de întindere mare de minimum 5 mm, iar poansonul se face dublu înclinat cu minimum 5°, pentru curgerea uşoară a metalului sub acesta;

- prin mici depresiuni conice de 120°, se pot *marca* pe piesă locurile unde vor fi date ulterior găuri prin aşchiere;

- la toate acestea *se adaugă şi valoarea adaosului de contracţie* şi abia acum întărind cu linie plină se obţine desenul de piesă matriţată, desen care stă la baza proiectării şi execuţiei cavităţii matriţelor;

- definitivarea cavităţii active a matriţelor se face prevăzând şi cavitatea suplimentară a *canalului de bavură* de-a lungul perimetrului (conturului) piesei în planul de separaţie.

În cazul matriţării închise. Desenul piesei matriţate cu un singur plan de separaţie se face la fel ca şi la matriţarea deschisă, cu deosebirea că planul de separaţie se va alege la nivelul celei mai mari suprafeţe frontale a piesei, *Figura 4.65(c)*.

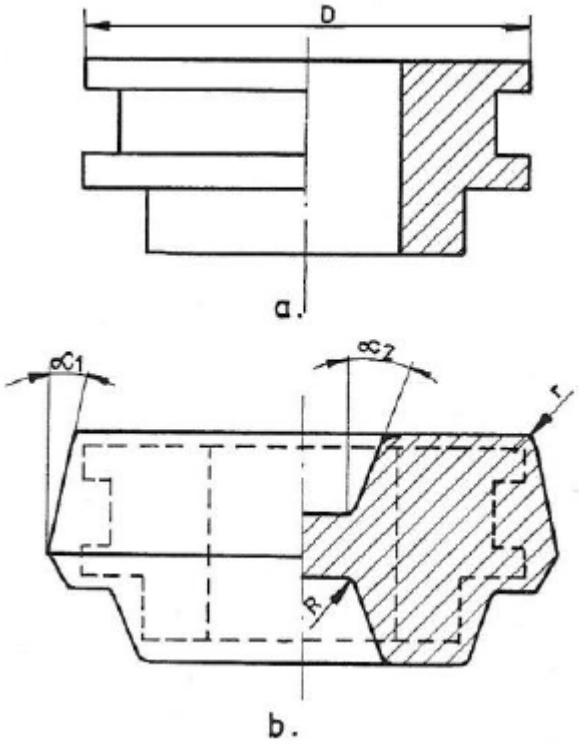
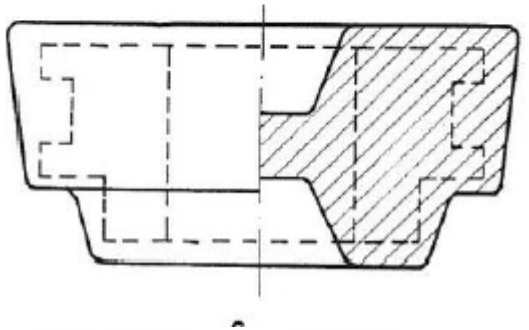


Figura 4.65. Exemple de alegere a planului de separaţie legat de metoda de matriţare:
a – desen de execuţie piesă; b – în cazul matriţării deschise; c – în cazul matriţării închise; α_1 – înclinare exterioară; α_2 – înclinare interioară; r – rază de racordare exterioară; R – rază de racordare interioară.



Matriţarea la cald a materialelor metalice

Elemente de proiectare a piesei matriţate

Referitor la ambele moduri de matriţare trebuie să se respecte şi următoarele reguli:

- alegerea planului de separaţie să ţină cont şi de suprafeţele care se prelucrează şi care nu, prin aşchiere;
- forma piesei să fie constructiv prevăzută cu înclinările şi razele de racordare corespunzătoare;
- piesa de-a lungul axei longitudinale să nu prezinte prea mari diferenţe la secţiunile transversale;
- să se evite pereţii subţiri, nervuri înalte şi subţiri, bosaje ridicate în apropierea planului de separaţie;
- în cazul unor piese complexe este bine ca acestea să se separe în detalii simple, uşor matriţabile, care apoi se asamblează prin sudare.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Variante tehnologice de matriţare

În funcţie de complexitatea piesei şi lotul de fabricaţie, tehnologia matriţării prezintă unele particularităţi:

- piesele matriţate la configuraţie simplă, cu secţiunea uniformă sau puţin diferenţiată pe lungime, în mod obişnuit se matriţează în matriţe cu o singură cavitate;

- piesele cu configuraţie complexă, cu variaţia secţiunii de-a lungul axei, care este şi curbă, nu mai pot fi matriţate într-o singură cavitate din semifabricat iniţial laminat de secţiune constantă, când se pierde şi mult metal în bavură.

În aceste cazuri, forma semifabricatului trebuie să se apropie de forma finală a piesei prin forjare anterioară şi numai în ultimă fază să se execute matriţarea în cavitatea de finisare, care dă forma finală şi dimensiunile piesei.

Această fasonare prealabilă, pentru un lot restrâns de piese, se face prin operaţii ale forjării libere, dar productivitatea este destul de scăzută.

Pentru fabricarea de piese în serie mare (cum ar fi în industria de tractoare şi automobile), eficacitatea economică va fi atinsă dacă se vor folosi semifabricate fasonate sau din laminate cu secţiune variabilă periodică.

Semifabricatul se poate fasona din laminat şi cu ajutorul laminorului de forjat la acelaşi cald cu matriţarea de finisare.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Variante tehnologice de matriţare

Modern, fasonarea semifabricatului se poate face fie cu ajutorul unor cavităţi pregătitoare, grupate pe acelaşi bloc matriţor, fie cu matriţe specializate în cazul fabricaţiei în flux tehnologic, când pentru fiecare fază avem o matriţă şi un utilaj deformant aşezate în linie.

Pentru exemplificare, în *Figura 4.66* se dă un bloc matriţor care cuprinde cavităţile pregătitoare şi de finisare, pentru reperul matriţat a cărui traseu tehnologic operaţional este reprezentat alăturat.

Fasonarea semifabricatului în vederea matriţării de finisare în *cavitatea 3*, se face în *cavităţile pregătitoare 1, 2, 4,* şi *5*.

Cavitatea de întindere 2, realizează întinderea semifabricatului pe anumite porţiuni, pe seama micşorării secţiunii transversale şi lucrează la fel ca la operaţia de întindere prin forjare.

Cavitatea de rulare 1, serveşte pentru distribuţia metalului de-a lungul axei longitudinale cu variaţia corespunzătoare a secţiunii, rotindu-se după fiecare lovitură.

Cavitatea de îndoire 5, se execută numai pentru piesele cu axă curbă şi la trecerea în următoarea cavitate, semifabricatul se roteşte cu 90°.

Pentru matriţarea pieselor cu formă circulară sau apropiată de această formă, adesea se utilizează refularea semifabricatului iniţial până la dimensiunile necesare pe înălţime şi diametru şi cavitatea matriţei se raţionează prin suprafeţe acoperitoare a dezvoltării refulării.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Variante tehnologice de matriţare

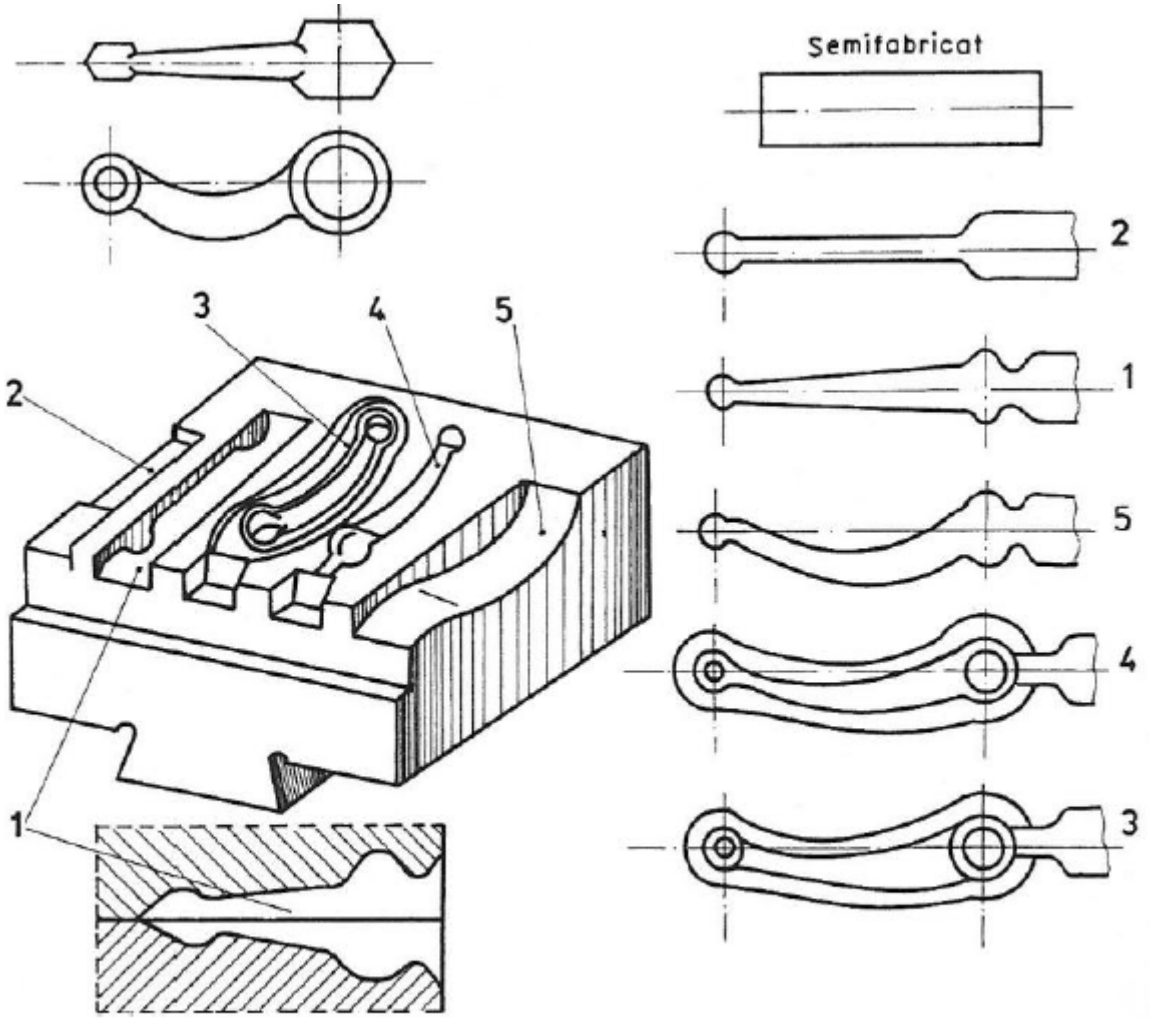


Figura 4.66. Bloc matriţor cu cavităţi multiple.

După această preforjare, semifabricatul trece în ultimele două cavităţi, respectiv cavitatea pregătitoare şi de finisare a matriţării propriu zise.

Cavitatea pregătitoare 4 execută matriţarea la forma geometrică finală a piesei şi se utilizează numai în cazul pieselor de formă complexă, această cavitate nu are canal de bavură.

Cavitatea de finisare 3, presupune obligatoriu existenţa canalului de bavură şi realizează piesa la dimensiuni.

Dimensiunile transversale în cavitatea *4* sunt mai mici decât în cavitatea de finisare, iar înălţimile sunt mai mari, astfel încât în cavitatea de finisare să se poată realiza deformarea uşoară prin refulare.

Cavitatea de finisare *3*, se dispune în suprafaţa oglinzii blocului matriţor, central, întrucât necesită cele mai mari forţe de deformare şi prin urmare, spre marginea blocului se vor dispune cavităţile care necesită forţe mici de deformare.

Determinarea semifabricatului iniţial. Greutatea şi dimensiunile semifabricatului de pornire se pot determina după legea volumului constant, însumând detaliile piesei matriţate la care se adaugă bavura la matriţarea deschisă şi pierderile prin oxidare.

Astfel, greutatea semifabricatului de pornire, G_{sp}, debitat din laminat se poate calcula cu relaţia:

$$G_{sp} = G_{pm} + G_o + G_b \qquad (4.103)$$

în care: G_{pm} este greutatea piesei matriţate;
G_o – pierderile prin oxidare, care se iau în limitele 2÷3% din $G_{pm}+G_b$;
G_b – greutatea bavurii.

Greutatea bavurii se determină cu relaţia:

$$G_b = 0{,}7 \cdot V_{cb} \cdot \gamma_m \qquad (4.104)$$

în care: V_{cb} este volumul canalului de bavură;
γ_m – greutatea specifică a metalului matriţat.

După determinarea greutăţii semifabricatului, se alege tipul semifabricatului laminat, care trebuie să fie cât mai apropiat de forma şi dimensiunile piesei de matriţat, în caz contrar travaliul de preforjare pentru apropierea formei semifabricatului de forma finală înainte de matriţarea de finisare, devine deosebit de laborios şi costisitor, aceasta şi în funcţie de complexitatea piesei.

În literatura tehnică de specialitate, pentru piese deosebit de complexe, sunt şi alte metode de determinare a semifabricatului iniţial, cum sunt *metodele grafice* şi *grafo-analitice*.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice
Utilaje pentru matriţarea la cald

Pentru matriţarea la cald se utilizează ciocane, prese cu excentric, maşini orizontale de forjat, prese hidraulice, prese cu şurub şi maşini speciale.

Matriţarea pe diversele tipuri de utilaje marchează unele particularităţi legate de construcţia şi funcţionarea lor.

Matriţarea pe ciocanele mecanice de forjă. Pentru matriţare, cel mai des utilizate sunt ciocanele cu abur-aer, care constructiv, faţă de cele de la forjarea liberă, au şabota încastrată în batiu şi ghidaje mai lungi şi mai robuste. Masa şabotei este de 20÷30 de ori mai mare decât a părţii căzătoare şi toate acestea pentru a se asigura perfecta centrare şi închidere pe oglindă (plan de separaţie) a matriţelor. Ciocanele au masa căzătoare variabilă, între 630 şi 2500 Kg.

Pe ciocane se forjează o gamă largă de piese, pe blocuri matriţoare cu mai multe cavităţi, în sistemul universal. Umplerea matriţei se face, de regulă, din 3÷5 lovituri. Cum după fiecare lovitură semimatriţa superioară se ridică de pe semifabricat, răcirea acestuia este mai puţin intensă în partea de sus şi curgerea plastică este mai bună. Dacă la aceasta se adaugă şi efectul legii acţiunii şi reacţiunii, atunci detaliile mai complicate ale piesei este bine să fie amplasate în semimatriţa ce se mişcă în proces, respectiv semimatriţa superioară la matriţarea pe ciocane. De asemenea, curgerea este îmbunătăţită şi prin acţiunea de îndepărtare a ţunderului prin suflare cu aer comprimat.

O îmbunătăţire substanţială a curgerii în cele două semimatriţe se realizează la ciocanele fără şabotă sau cu contralovitură, cu energii de până la 1 MJ, *Figura 4.67*.

Aşa cum se observă, se acţionează numai *berbecul superior 1*, dar fiind legat de *berbecul inferior 2* prin elementele *3, 4* şi *5*, la coborârea berbecului superior, urcă şi berbecul inferior şi execută simultan lovitura. Energia loviturii în acest caz va fi:

$$E_{lov} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \qquad (4.105)$$

şi dacă masele celor doi berbeci (m_1 şi m_2) şi vitezele lor (v_1 şi v_2) se consideră identice, atunci:

$$E_{lov} = m \cdot v^2 = \frac{G_b}{g} v^2, \qquad (4.106)$$

în care: G_b este greutatea berbecului;
v – viteza berbecului;
g – acceleraţia gravitaţională.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Utilaje pentru matriţarea la cald

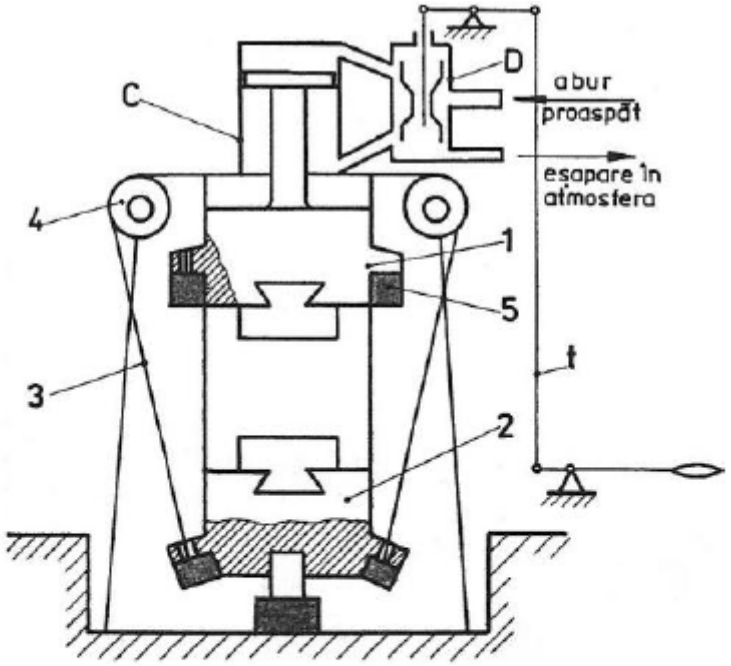


Figura 4.67. Ciocane cu abur cu contralovitură:
1 – berbec superior; 2 – berbec inferior; 3 – sistem de antrenare; 4 – role de antrenare; 5 – sistem de prindere; C – cilindru de lucru; D – distribuitor; t – sistem de comandă.

Datorită vitezelor mari de lovire, matriţele pentru ciocane se fac din oţeluri aliate rezistente la şoc, tenace şi rezistente la uzură. Astfel, ca material pentru matriţe destinate prelucrării la cald se folosesc oţeluri care pe lângă un conţinut mediu de carbon (0,25÷0,55%), mai conţin elemente de aliere ca: W; Cr; Mo; Ni. Cele mai utilizate oţeluri sunt: 30 VCrW 85; 55 MoCrNi 16; 57 VMoCrNi 17; 35 SiWCr 52.

Matriţele se construiesc fără extractoare şi prin urmare, înclinaţiile de matriţare se iau mai mari decât la matriţarea pe prese.

Matriţarea pe prese cu excentric, *Figura 4.68*. Comparativ cu matriţarea pe ciocane, matriţarea pe presele cu excentric sau manivelă, prezintă următoarele particularităţi:

- *avantaje*: cursa presei fiind fixă, se realizează o bună precizie pe înălţime a piesei şi o mare productivitate; robusteţea mare şi ghidajele lungi face posibil ca matriţele să se centreze pe coloane, ceea ce elimină orice pericol de dezaxare; necesită fundaţii mai

mici decât ciocanele; se pot folosi extractoare, ceea ce duce la micşorarea înclinaţiilor de matriţare; posibilităţi de mecanizare şi automatizare;

- *dezavantaje*: costul ridicat al pieselor; limitarea numărului de piese; cursa patinei fiind fixă presele sunt mai puţin universale decât ciocanele; semifabricatul trebuie mai bine pregătit (încălzire fără oxidare, curăţire de oxizi).

În general, se pot matriţa tot felul de piese, ca şi pe ciocan, cu deosebirea că în acest caz canalul de bavură este deschis, închiderea matriţelor făcându-se până la nivelul grosimii puntiţei, *Figura 4.69*.

Pe presele cu excentric se face numai matriţare de finisare, apropierea formei semifabricatului făcându-se anterior.

De mare importanţă este apoi determinarea forţei de deformare. Se construiesc prese cu excentric de 6,3÷100 MN şi suplinesc ciocane cu masa căzătoare de 0,63÷10 t.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Utilaje pentru matriţarea la cald

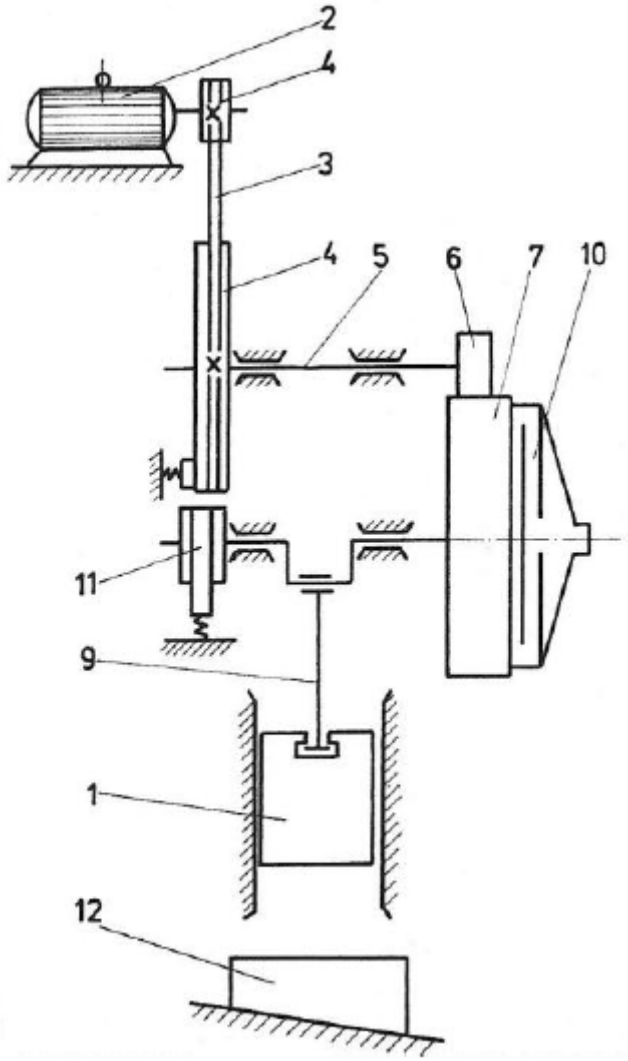


Figura 4.68. Schema unei prese cu excentric:
1 – berbec; 2 – motor; 3 – curele trapezoidale; 4 – roţi de transmisie; 5 – arbore intermediar; 6 – pinion; 7 – roată dinţată; 8 – arbore cotit; 9 – bielă; 10 – manşon; 11 – frână; 12 – dispozitiv cu pană dublă.

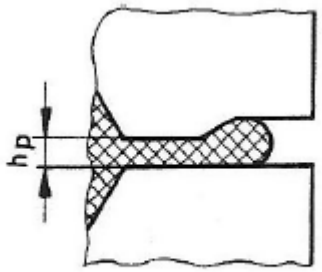


Figura 4.69. Canal de bavură deschis

Matriţarea pe prese hidraulice, *Figura 4.56*, prezintă următoarele particularităţi: viteză mică de deformare; numărul curselor este redus, deci productivitate scăzută; forţa maximă se dezvoltă de la început şi este constantă pe tot parcursul lucrului; cursa este destul de mare; asigură întreaga deformaţie la o singură cursă; costul presei este destul de ridicat; se pretează la matriţarea unor piese foarte mari sau pentru materiale cu plasticitate redusă.

Forţa preselor atinge pe plan mondial 750 MN. Se forjează în matriţă piese sub formă de discuri, arbori cotiţi, diverse pârghii, suporţi, funduri sferice, piese cilindrice pahar etc. O deosebită aplicare pe presele hidraulice o au matriţarea de panouri şi carcase din aliaje uşoare pentru construcţii de avioane. Se poate asigura datorită vitezelor mici şi deformare plastică izotermă, cu instalaţie de încălzire pe presă, ceea ce conduce la o bună plasticitate a metalului şi scăderea forţelor de deformare.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice
Operaţii de după matriţare

Procesul tehnologic de fabricare a unei piese matriţate, în general, se compune din următoarele etape: debitarea semifabricatului din laminat; încălzirea; matriţarea propriu-zisă; debavurare (exterioară şi interioară); îndreptare, calibrare; tratamentele termice; curăţire de oxizi, calibrare; control tehnic de calitate.

Debavurarea, presupune îndepărtarea bavurii exterioare şi a membranelor sau timpanelor găurilor interioare. Se realizează cu ajutorul sculelor specializate de debavurat montate pe prese cu excentric sau cu manivelă. Schemele de tăiere se dau în *Figura 4.70*.

Operaţia se poate executa la cald sau la rece, de cele mai multe ori pe presele cu excentric. *Debavurarea la cald*, imediat după matriţare sau cu o nouă încălzire, are avantajul unor forţe de presare mai mici decât debavurarea la rece. Debavurarea imediat după matriţare (la 1000÷1100 K) reclamă introducerea în flux a presei cu excentric, dar aceasta nu va fi amortizată, fiind limitată la productivitatea matriţării. *Debavurarea la rece* are o precizie mult mai bună, dar trebuie dată atenţie la fisurare.

Sculele active, poansoanele şi matriţele de debavurat (de tăiere), se execută din oţeluri de scule călibile, muchia tăietoare executându-se ca în *Figura 4.70(a)*.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice
Operaţii de după matriţare

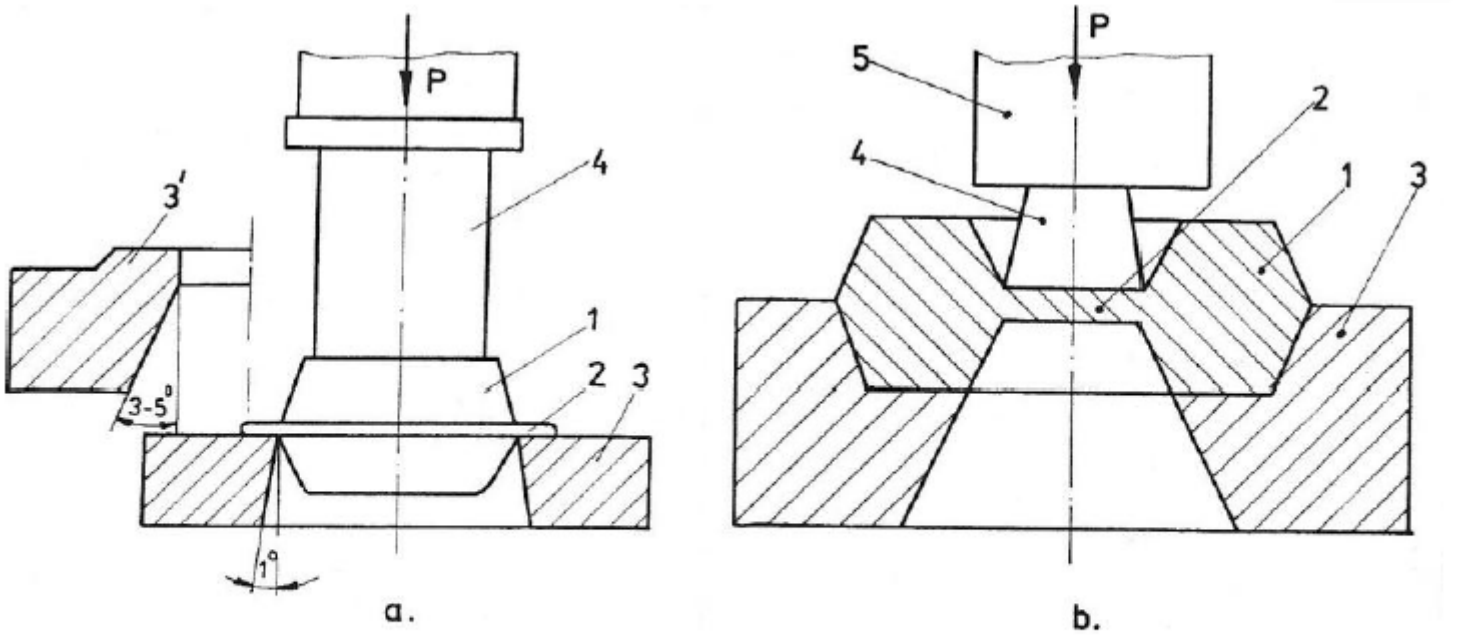


Figura 4.70. Seturi de scule pentru debavurat:
a – debavurare exterioară; 1 – piesă; 2 – bavură; 3, 3' – matriţă; 4 – poanson.
b – debavurare interioară; 1 – piesă; 2 – puntiţă; 3 – matriţă; 4 – poansonul cuţit; 5 – port-poanson.

Scoaterea bavurii de pe poanson se realizează cu extractoare.

Forţa necesară debavurării sau perforării (debavurării interioare) se determină cu relaţia:

$$P = K \cdot A_f \cdot \tau_f \,, \qquad (4.107)$$

în care: K este coeficient care exprimă uzura matriţelor şi poansoanelor şi de asemenea, rezerva puterii presei şi se ia K = 1,5÷1,8;

A_f – suprafaţa de forfecare ca produs al perimetrului bavurii şi înălţimii puntiţei acesteia, în mm^2;

τ_f – rezistenţa la forfecare, aproximată cu relaţia, $\tau_f = 0{,}85 \cdot \sigma_r$ [daN/mm^2], în care σ_r este limita de rupere a metalului în condiţiile date ale deformării.

Îndreptarea pieselor matriţate. În urma matriţării şi debavurării, este posibil ca axele şi secţiunile transversale ale pieselor să fie deformate, fiind deci necesară îndreptarea lor. Piesele mici se îndreaptă la rece, iar cele mijlocii şi mari la cald. Îndreptarea se poate realiza pe ciocane de matriţat, în matriţe speciale sau în cavitatea de finisare.

Calibrarea, este operaţia de finisare la cald sau la rece prin care se execută dimensiunile exacte şi suprafeţele netede, obţinându-se şi o masă cât mai constantă.

Calibrarea la cald se aplică pieselor mari, precizia obţinută fiind inferioară calibrării la rece. După calibrare, piesele nu se mai supun prelucrării prin aşchiere, ele se obţin cu luciu de oglindă, cel mult se mai pot rectifica. Calibrarea se face numai după curăţirea piesei debavurate şi pentru oţelurile cu peste 0,4% C sau din oţel aliat, numai după normalizare.

Calibrarea la rece este net superioară şi poate fi plană, volumică sau combinată.

Calibrarea plană, Figura 4.71, realizează numai execuţia exactă a grosimii pieselor, respectiv numai a unor dimensiuni şi suprafeţe.

La calibrarea plană suprafeţele laterale devin mai convexe, iar grosimea piesei este mai mică spre periferia acesteia. Din aceste motive, pentru ridicarea preciziei, suprafaţa frontală a sculei se face convexă, iar semifabricatul se face concav.

La *calibrarea de volum* se formează şi o mică bavură *x*, *Figura 4.72*, dar care se îndepărtează uşor prin ştanţare, netezire sau polizare. Precizia calibrării de volum este cu 40% mai mică decât precizia calibrării plane.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Operaţii de după matriţare

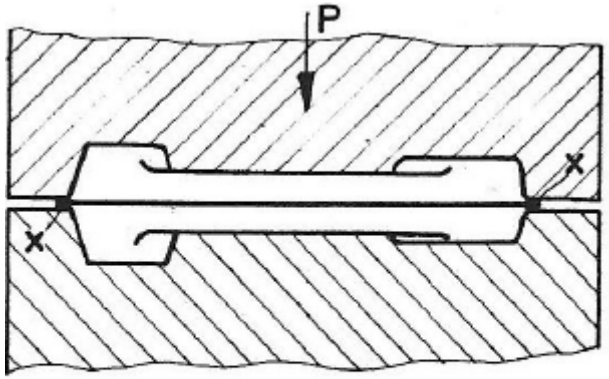


Figura 4.71 Calibrarea plană.

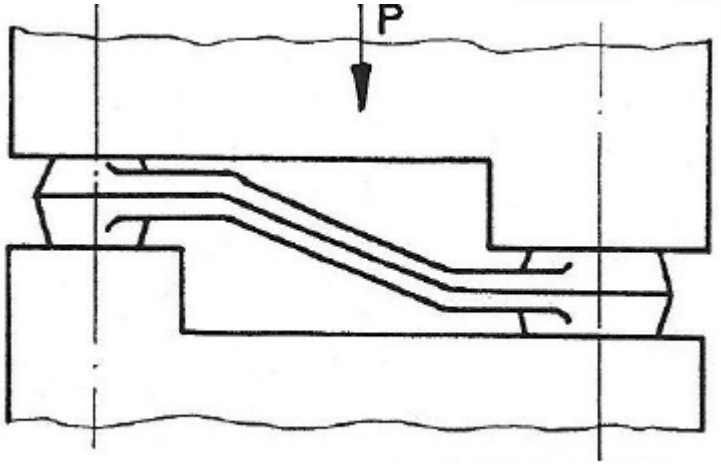


Figura 4.72. Calibrarea de volum.

Forţa necesară calibrării, P, se determină cu relaţia:

$$P = k \cdot A \qquad (4.108)$$

în care: k – este presiunea de calibrare, în daN/cm^2, care se ia în limitele, $13 \div 16 \times 10^3$ la oţel carbon, $16 \div 20 \times 10^3$ la oţel aliat şi 12×10^3 la piesele din aliaje de cupru şi aluminiu. Aceste valori se referă la calibrarea plană, pentru calibrarea de volum luându-se valori de două ori mai mici;

A – aria suprafeţei proiecţiei în plan a piesei calibrate.

Curăţirea pieselor forjate în matriţe, îmbunătăţeşte condiţiile de lucru pentru sculele aşchietoare şi condiţiile de control ale suprafeţei. Curăţirea se face în tobe, prin sablare şi decapare chimică.

Curăţirea în tobe se face la fel ca şi pentru piesele turnate. Pentru piesele grele nu se aplică, întrucât lasă urme de lovire.

Sablarea cu alice de 1÷3 mm, cu aer comprimat este mult utilizată pentru piese mici şi mijlocii.

Curăţirea chimică în soluţii apoase la 40÷60°C se foloseşte pentru piese mari de configuraţie complexă.

Controlul tehnic de calitate, urmăreşte nu numai piesa gata ci şi toate etapele procesului tehnologic de matriţare. Controlul piesei matriţate se face cu ochiul liber şi se măsoară dimensiunile şi duritatea. Controlul dimensiunilor se face cu instrumente universale (compase, şublere etc.) şi speciale (scoabe, şabloane, aparate şi dispozitive de control). Prin sondaj, un număr de piese din lot se supun controlului metalografic şi încercărilor mecanice. Defectele interne se pun în evidenţă cu defectoscopia ultrasonică şi cu raze Röentgen.

FORJAREA MATERIALELOR METALICE

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Particularităţile tehnologice de matriţare ale unor oţeluri aliate, ale unor aliaje greu deformabile şi ale aliajelor neferoase

Asupra deformabilităţii acestor materiale metalice, problemele generale ale forjării au fost prezentate în paragraful 4.4.1.4. La matriţare, faţă de forjarea liberă, trebuie ţinut cont de faptul că semifabricatul de pornire nu mai este turnat ci laminat sau preforjat şi deci, este un metal cu o plasticitate mai bună decât cea de turnare.

Pentru a elimina fisurarea, la debitare din laminat, oţelurile bogat aliate se preîncălzesc la 400÷700°C.

Datorită plasticităţii scăzute, oţelurile bogat aliate şi aliajele greu deformabile se matriţează mai bine în matriţe închise şi din acelaşi motiv, matriţarea se face nu prin refulare ci prin presare şi extrudare.

Aliajele pentru care plasticitatea scade la viteze mari de deformare (aliajele titanului, magneziului etc.), se recomandă a fi matriţate pe prese hidraulice şi cu excentric.

Pentru atenuarea răcirii şi asigurarea unei pătrunderi uniforme a deformaţiei, matriţele se preîncălzesc la 200÷400°C.

Piesele forjate din unele aliaje greu deformabile, reclamă matriţarea în condiţii izoterme.

Matriţarea la cald a materialelor metalice

Particularităţile tehnologice de matriţare ale unor oţeluri aliate, ale unor aliaje greu deformabile şi ale aliajelor neferoase

Pentru metalele şi aliajele neferoase, particularităţile forjării-matriţării se pot concretiza în:

- respectarea domeniilor înguste de forjare, *Figura 4.25*, care este de 300°C pentru cupru, de 100°C pentru bronzuri şi alame, dar de numai 50°C pentru aluminiu şi 60°C pentru zinc;
- sunt sensibile cu vitezele mari, de aceea forjarea se face pe prese şi nu pe ciocane;
- este necesar să se utilizeze, pe cât posibil, matriţarea închisă cu înclinaţii de maximum 2÷3°, iar forjarea să se facă numai cu scule profilate;
- datorită ecruisabilităţii, forjarea-matriţarea se va face în trepte;
- se vor evita trecerile bruşte de secţiune;
- matriţele se ung pentru evitarea lipirii metalului de acestea.

Respectând condiţiile de mai sus, utilajele forjării-matriţării neferoaselor sunt identice cu cele de la oţel (ciocane, prese, maşini speciale de forjat).

FORJAREA MATERIALELOR METALICE
Matriţarea la cald a materialelor metalice
Mecanizarea şi automatizarea secţiilor de matriţare

In secţiile de matriţare la cald, se supun mecanizării şi automatizării, operaţii de: alimentare şi încărcare a cuptoarelor de încălzire; conducerea regimului de încălzire; alimentarea cu semifabricate calde a maşinii de forjat.

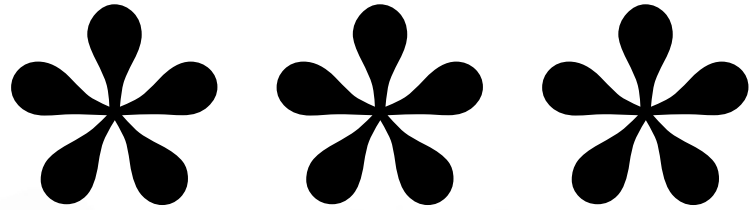
Mai utilizate sunt în acest scop mecanismele şi instalaţiile de transport ale semifabricatului, pieselor forjate şi deşeurilor din proces, cum sunt: monoraiuri, mese rotitoare, conveioare etc.

Mai greu se pot mecaniza operaţii cum sunt: aşezarea semifabricatului în matriţă; trecerea semifabricatului de la o cavitate la alta; scoaterea pieselor din matriţe etc., acestea fiind legate de tipul de utilaj.

Pe prese, unde avem un regim funcţional constant, şi aceste operaţii se pot mecaniza, se pot prevedea extractoare şi braţe mecanice (roboţi), ceea ce pe ciocane este deosebit de dificil.

La matriţarea pe prese se pot corela fazele procesului cu roboţi şi manipulatoare, care pot fi comandate fie de la arborele cotit al presei mecanice, fie de la cursa poansonului (culisoului). Cea mai bună mecanizare se poate adapta pe maşinile de forjat orizontale.

Progresul tehnic a reuşit la ora actuală, ca pentru unele repere matriţate, să realizeze linii automate complexe, unde toate etapele procesului tehnologic sunt automatizate. Aceasta a fost posibil datorită introducerii pe scară largă a roboţilor cu funcţii de apucare, deplasare spaţială, aşezare şi manipulare a semifabricatului în matriţe (de exemplu, linii automate pentru supape auto, inele de rulmenţi, roţi dinţate cu dantură rulată etc.).



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor:

- Bazele teoretice ale procedeului
- Produsele laminării
- Scule şi utilaje pentru laminare
- Tehnologia laminării
- Fabricarea ţevilor

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Laminarea este metoda de prelucrare prin deformare plastică, care se realizează, în proces continuu, în spaţiul dintre doi cilindri aflaţi în mişcare de rotaţie, cilindri care realizează antrenarea prin frecare a semifabricatului în zona de deformare (spaţiul dintre aceştia), deformarea propriu-zisă şi deplasarea produsului la ieşirea din zona deformării. Utilajul de lucru este denumit *laminor*, iar produsul rezultat *laminat*.

La laminare, dimensiunile semifabricatului sau lingoului se reduc pe direcţia presării lui de către cilindri şi cresc în celelalte direcţii, preponderent în direcţia de avans a acestuia, realizându-se profile de secţiune dorită în condiţiile obţinerii unor caracteristici mecanice ridicate prin modificarea structurii de turnare (grăunţi grosolani) într-o structură fină (grăunţi mici).

Laminării se supun până la 90% din producţia mondială de oţel şi o mare parte din metalele şi aliajele neferoase.

În practica industrială se disting două tipuri fundamentale de laminare: longitudinală şi transversal-elicoidală, conform schemelor din *Figura 4.32*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

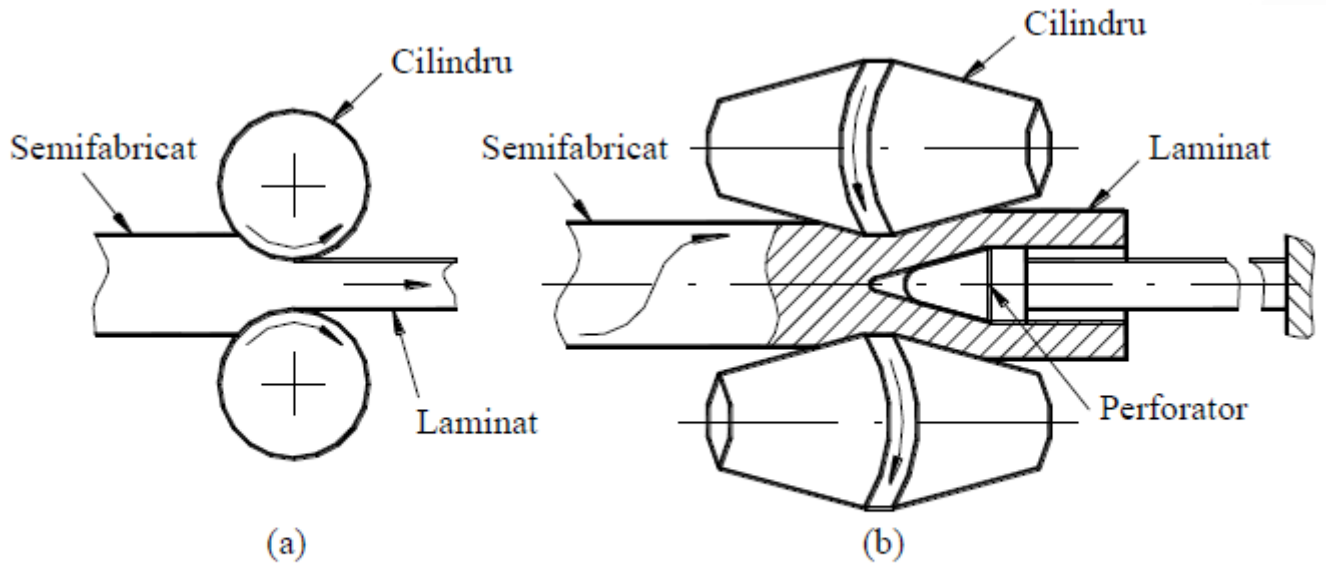


Figura 4.32. Tipuri de laminare:
(a) – laminare longitudinală; (b) – laminare transversal-elicoidală.

Laminarea longitudinală este cel mai răspândit tip de laminare, aplicându-se în diverse variante în vederea obţinerii semifabricatelor din lingouri (blumuri, brame, ţagle, platine) şi produselor finite din semifabricate (profile, table, laminate speciale). Conform *Figurii 4.32(a)*, semifabricatul este prins de cilindri (de regulă, cu acelaşi diametru), care se rotesc în sens contrar şi realizează laminarea, obţinându-se produsul laminat care se deplasează perpendicular pe axa cilindrilor, în sensul săgeţii.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Laminarea transversal-elicoidală se aplică, în general, în vederea obţinerii semifabricatelor perforate pentru ţevi. După schema din *Figura 4.32(b)*, semifabricatul cu secţiune rotundă se introduce între cilindrii bitronconici pe direcţia bisectoarei unghiului format de axele cilindrilor şi în această direcţie se laminează. Caracteristic pentru acest proces este faptul că cilindrii se rotesc în acelaşi sens imprimând semifabricatului o mişcare rototranslatorie (elicoidală). Materialul din zona periferică a semifabricatului se alungeşte mai mult decât cel din zona centrală, iar în axa semifabricatului apar tensiuni de întindere care determină formarea unei cavităţi. Datorită unghiului în spaţiu dintre cilindri (5°÷15°), materialul se deplasează şi în lungul axei sale, realizându-se şi o laminare pe dopul perforator, obţinându-se astfel produsul laminat (*eboşa* – ţeavă scurtă cu pereţi groşi).

În cazul laminării longitudinale, deformarea plastică nu are loc simultan în tot volumul semifabricatului ($A\,B\,B'\,A'$ în secţiune longitudinală – *Figura 4.33*), ci numai într-o zonă relativ mică ce se află în spaţiul dintre cilindri.

Din punct de vedere geometric, convenţional, zona de deformare se consideră că este delimitată între secţiunea de intrare a semifabricatului între cilindri CC' şi secţiunea de ieşire DD' (zona haşurată).

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Zona de deformare $CC'-DD'$ este caracterizată de *elementele geometrice independente*:

- *înălţimea iniţială a semifabricatului*, h_0 [mm];
- *lăţimea iniţială a semifabricatului*, b_0 [mm];
- *distanţa dintre cilindri* (înălţimea laminatului), h_1 [mm];
- *diametrul cilindrilor*, D_c [mm],

pe baza cărora se determină *elementele geometrice dependente* de acestea:

- *unghiul de prindere*, α_p, se determină din triunghiul CQE, *Figura 4.33*, astfel:

$$\cos\alpha_p = \frac{QE}{QC} = \frac{QD-ED}{QC} = \frac{\frac{D_c}{2} - \frac{h_0-h_1}{2}}{\frac{D_c}{2}} = 1 - \frac{h_0-h_1}{D_c}, \text{ de unde:}$$

$$\alpha_p = \arccos\left(1 - \frac{h_0-h_1}{D_c}\right) \text{ [rad];} \qquad (4.49)$$

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

- *lungimea zonei de contact* (lungimea arcului CD), l_c, se aproximează, pentru simplificare, cu lungimea coardei CD. Se determină utilizând asemănarea triunghiurilor CDE şi FDC. Astfel:

$$\frac{CD}{FD} = \frac{DE}{DC} \text{ sau } CD^2 = FD \cdot DE = D_c \cdot \frac{h_0 - h_1}{2}, \text{ de unde:}$$

$$l_c = \sqrt{D_c \cdot \frac{h_0 - h_1}{2}} \text{ [mm];} \qquad (4.50)$$

- *lăţimea laminatului*, b_1, depinde de o serie de factori, cum ar fi: factori de material (compoziţie chimică şi structură), elementele geometrice independente şi condiţiile laminării (frecarea dintre semifabricat şi cilindrii de laminare, temperatura de laminare, viteza de laminare etc.). În literatură există numeroase relaţii obţinute experimental sau teoretic pentru determinarea lăţimii laminatului, însă nici una nu concentrează numeroşii parametri care intervin. Una dintre acestea, cu rezultate satisfăcătoare, este şi cea dată de *S. I. GUBKIN*:

$$b_1 = b_0 + \left(1 + \frac{h_0 - h_1}{h_0}\right) \cdot \left(\mu \cdot l_c - \frac{h_0 - h_1}{h_0}\right) \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} \text{ [mm],} \qquad (4.51)$$

care ia în considerare elementele geometrice independente şi frecarea dintre semifabricat şi cilindrii de laminare prin intermediul coeficientului de frecare μ;

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

• *suprafaţa de contact*, S_c, dintre semifabricat şi unul dintre cilindrii de laminare se determină, considerând-o trapezoidală, cu relaţia:

$$S_c = \frac{b_0 + b_1}{2} \cdot l_c \ [\text{mm}^2]. \qquad (4.52)$$

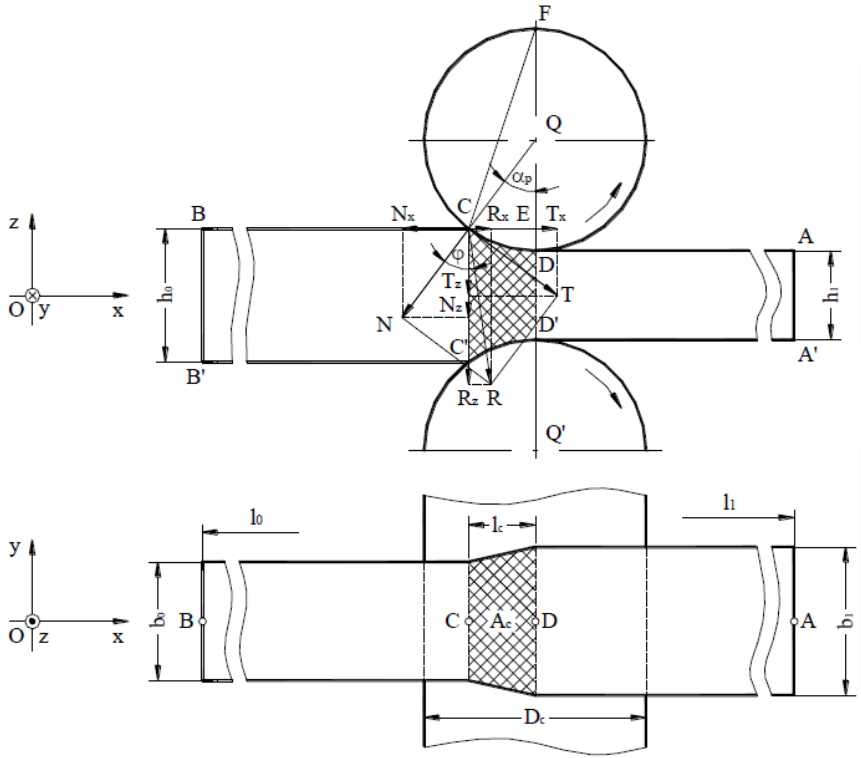


Figura 4.33. Procesul de laminare longitudinală.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Procesul de laminare longitudinală este caracterizat de următoarele stadii:

♦ *stadiul de prindere*, care se desfăşoară din momentul în care semifabricatul vine în contact cu cilindrii ($AA' \rightarrow CC'$ -*Figura 4.33*) şi până când zona de deformare este complet ocupată de material ($AA' \rightarrow DD'$).

Între cilindrii de laminare şi semifabricat, în zona de contact, acţionează două forţe principale:

- forţa radială N, cu componentele: $N_x = N \cdot \sin\alpha_p$ şi $N_z = N \cdot \cos\alpha_p$;
- forţa tangenţială T (de frecare), cu componentele: $T_x = T \cdot \cos\alpha_p$ şi $T_z = T \cdot \sin\alpha_p$,

care prin compunere dau rezultanta R cu componentele: $R_x = N_x + T_x$ şi $R_z = N_z + T_z$.

Componenta R_z se numeşte *forţă de laminare* şi produce deformarea materialului, iar componenta $R_x = -N \cdot \sin\alpha_p + T \cdot \cos\alpha_p$ se numeşte *forţă de antrenare* şi determină antrenarea materialului între cilindri.

Ţinând seama de direcţia şi sensul laminării, prinderea semifabricatului de către cilindrii de laminare se realizează în condiţia $R_x > 0$ sau $-N \cdot \sin\alpha_p + T \cdot \cos\alpha_p > 0$, de unde rezultă $tg\alpha_p < T / N$.

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Din condiţiile frecării, exprimate prin legea AMONTON-COULOMB, se consideră că $T = \mu \cdot N$. Se obţine:

$$tg\alpha_p < \frac{\mu \cdot N}{N} \text{ sau } tg\alpha_p < \mu, \tag{4.53}$$

în care μ este coeficientul de frecare dintre semifabricat şi cilindrii de laminare, sau:

$$\mu = tg\varphi, \tag{4.54}$$

în care φ [rad] este unghiul de frecare format de N şi R.

Înlocuind relaţia (4.54) în (4.53) se obţine, $tg\alpha_p < tg\varphi$ sau

$$\alpha_p < \varphi, \tag{4.55}$$

relaţie care reprezintă **condiţia de prindere** a semifabricatului între cilindrii de laminare.

♦ *stadiul stabilizat*, care începe în momentul când laminatul, ce părăseşte zona de deformare, prezintă o grosime constantă pe lungime. Din acest moment, forţa de laminare, care şi-a deplasat continuu punctul de aplicare în sensul de laminare, îşi stabilizează poziţia, de regulă în zona centrală a arcului CD, ceea ce conduce la condiţii mult mai bune de prindere şi antrenare.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Pentru menţinerea zonei de deformare în timpul laminării semifabricatului, trebuie să fie satisfăcută **condiţia de stabilitate**:

$$\psi_l = \frac{h_0}{b_0} < \psi_{la}\,, \qquad (4.56)$$

în care: ψ_l este raportul de laminare;

ψ_{la} – raportul de laminare maxim admis, $\psi_{la} = 1{,}5$.

♦ *stadiul final* nestabilizat al procesului de laminare, în care materialul semifabricatului părăseşte zona de deformare ($BB' \rightarrow CC'-DD'$).

Principalele categorii de parametri tehnologici urmăriţi la laminarea longitudinală între cilindri cu tăblie dreaptă, la o trecere, sunt: parametrii deformaţiei şi parametrii de forţă.

Parametrii deformaţiei la laminare. La aplicarea unei stări de tensiune asupra unui semifabricat, acesta îşi modifică dimensiunile (se deformează) în general pe toate cele trei direcţii ale axelor de coordonate.

Pentru cazul general al unui semifabricat paralelipipedic, *Figura 4.33*, mărimea deformării pe cele trei direcţii: înălţime, lăţime şi lungime se exprimă prin anumiţi coeficienţi, corespunzători.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Deformaţia pe înălţime, care poartă denumirea de *reducere*, se exprimă printr-o mărime absolută (reducere absolută) şi mai multe mărimi relative (reduceri relative). Aceste mărimi se definesc astfel:

- *reducerea absolută*:

$$\Delta h = h_0 - h_1 \ [\text{mm}]; \tag{4.57}$$

- *coeficienţii relativi de reducere*:

$$\Delta h_r = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0}; \quad \eta = \frac{h_0}{h_1}; \quad \delta_h = ln\frac{h_0}{h_1}. \tag{4.58}$$

Deformaţia pe lăţime, care poartă denumirea de *lăţire*, se exprimă de asemenea printr-o mărime absolută şi mai mulţi coeficienţi relativi, astfel:

- *lăţirea absolută*:

$$\Delta b = b_1 - b_0 \ [\text{mm}]; \tag{4.59}$$

- *coeficienţii relativi de lăţire*:

$$\Delta b_r = \frac{b_1 - b_0}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0}; \quad \beta = \frac{b_1}{b_0}; \quad \delta_b = ln\frac{b_1}{b_0}. \tag{4.60}$$

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Deformaţia pe lungime, care poartă denumirea de *lungire*, este exprimată prin mărimea absolută şi prin coeficienţii relativi:

- *lungirea absolută*:

$$\Delta l = l_1 - l_0 \text{ [mm]}; \tag{4.61}$$

- *coeficienţii relativi de lungire*:

$$\Delta l_r = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}; \quad \lambda = \frac{l_1}{l_0}; \quad \delta_l = ln\frac{l_1}{l_0}. \tag{4.62}$$

Între coeficienţii η, β şi λ există relaţia:

$$\eta = \beta \cdot \lambda, \tag{4.63}$$

iar între δ_h, δ_b şi δ_l există relaţia:

$$\delta_h = \delta_b + \delta_l, \tag{4.64}$$

relaţii care reprezintă exprimări ale legii volumului constant.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Bazele teoretice ale procedeului

Parametrii de forţă la laminare. În vederea alegerii raţionale a utilajului de laminare este necesară cunoaşterea parametrilor de forţă, care sunt:

- *forţa specifică de laminare* (presiunea medie de laminare), p_m, pentru care în literatură există relaţii experimentale de calcul, cea mai simplă dintre acestea fiind:

$$p_m = n_\theta \cdot \sigma_r \ [\text{daN/mm}^2] \qquad (4.65)$$

în care: n_θ este un coeficient de temperatură care se determină cu o relaţie de forma: $n_\theta = (30 - 0{,}023 \cdot \theta_l) \cdot 0{,}055$, θ_l fiind temperatura de laminare, în °C;

σ_r – rezistenţa la rupere a materialului semifabricatului la temperatura de laminare, în daN/mm^2;

- *forţa totală de laminare*, R_z, reprezintă produsul dintre forţa specifică de laminare şi suprafaţa pe care aceasta acţionează:

$$R_z = p_m \cdot S_c \ [\text{daN}], \qquad (4.66)$$

în care S_c este suprafaţa de contact, dată de relaţia (4.52).

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Produsele laminării

Prin laminare se pot obţine două categorii de produse:

- **semifabricate**, în care intră: *blumuri* (pătrate); *brame* (dreptunghiulare); *ţagle* (rotunde sau pătrate) şi *platine* (dreptunghiulare), conform STAS 436-90 şi STAS 6791-71;
- **produse finite** ale laminării, produse care fac obiectul materiei prime pentru construcţia de maşini şi instalaţii.

Blumurile au secţiunea pătrată cu latura de 150÷400 mm şi lungimea de la 1200 la 1800 mm. Ţaglele au secţiunea pătrată cu latura de 40÷140 mm şi lungime 1500÷1200 mm. Bramele (sleburile) au secţiunea de formă dreptunghiulară cu grosimea de 70 mm şi lăţime de la 120 la 1800 mm. Platinele au secţiunea de formă dreptunghiulară cu grosime mică (peste 6 mm) cu lăţimi între 200÷280 mm, lungime 6500 mm.

Blumurile se folosesc la laminoarele de profile grele şi mijlocii, ţaglele plate pentru benzi şi cele pătrate pentru profile mijlocii, uşoare şi sârme, sleburile pentru table groase, iar platinele pentru table subţiri.

Principalele grupe din sortimentul produselor finite ale laminării se pot enumera: profile; table; ţevi; laminate speciale.

Profilele laminate se împart în două subgrupe: profile de formă geometrică simplă (rotund, pătrat, hexagonal, dreptunghiular); profile fasonate (corniere, U, I, T, şine de cale ferată etc.).

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Produsele laminării

Tablele laminate din oţel sunt de următoarele categorii: table groase, cu grosimi de 4÷60 mm şi lăţimi de 600÷3000 mm (şi mai mult); table subţiri, cu grosimi de 0,2÷4 mm (zincată, cositorită, decapată, neagră, lustruită); folii, cu grosimi sub 0,2 mm.

Ţevile din oţel pot fi: ţevi fără sudură, cu grosime de perete de 0,5÷40 mm şi diametru exterior 5÷426 mm; ţevi sudate, cu grosimea pereţilor până la 14 mm şi diametrul exterior de maximum 720 mm.

Laminatele speciale pot fi: bandaje; roţi; bile; role; produse cu secţiune transversală variabilă şi periodică folosite ca preforjări în vederea matriţării.

Metalele şi aliajele neferoase se laminează în principal sub formă de profile simple: rotunde; pătrate şi dreptunghiulare.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

Sculele laminării se numesc **cilindri** sau **valţuri** de laminare şi pot fi *netezi*, *Figura 4.34(a)*, utilizaţi pentru laminarea tablelor, benzilor etc. şi *profilaţi*, *Figura 4.34(b)*, pentru profile sau în trepte pentru platbande şi benzi.

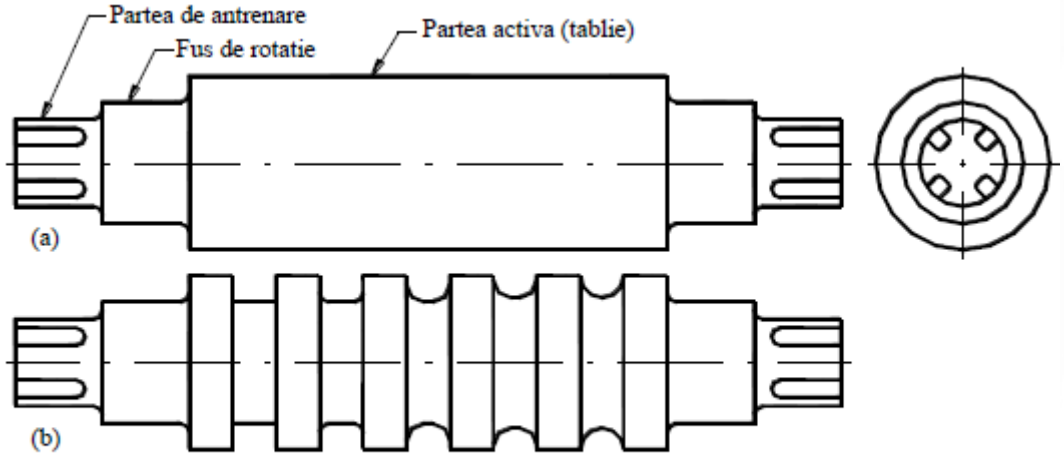


Figura 4.34. Cilindri de laminor:
a – cu tăblie dreaptă; b – cu tăblie profilată.

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

După duritatea tăbliei se deosebesc:

- cilindri moi, cu duritatea sub 250 HB (40 HSh), din fontă sau oţel turnat şi forjat;
- cilindri semiduri, cu duritatea de 250÷350 HB (50÷60 HSh), din fontă sau oţel turnat şi forjat;
- cilindri duri, cu duritatea de 350÷550 HB (60÷85 HSh), din fontă dură sau oţel aliat turnat şi forjat;
- cilindri foarte duri, cu duritatea de 550÷650 HB (85÷100 HSh), din oţel aliat turnat şi forjat;

Prin calibrare se înţelege scobirea în tăblia cilindrului a unor caneluri în funcţie de profilul laminatului în secţiune transversală, cu o succesiune de-a lungul axei în funcţie de numărul de treceri la laminare. Asocierea a două caneluri de pe perechea de cilindri conjugaţi, formează calibrul, *Figura 4.34(b)*, de-a lungul unei perechi de cilindri fiind dispuse mai multe calibre, după numărul de treceri necesar.

Astfel, laminarea cu cât este mai spre produse fine, cu atât necesită un număr mai mare de treceri.

Numărul de treceri la laminare se poate determina în baza raţionamentului prezentat în continuare. Dacă se scrie legea volumului constant la laminare, atunci:

$$S_0 \cdot L_0 = S_n \cdot L_n \text{ de unde }, \frac{S_0}{S_n} = \frac{L_n}{L_0} = \lambda_t , \qquad (4.67)$$

dar această explicitare este valabilă pentru fiecare trecere şi prin urmare, fiecărei treceri îi va corespunde o alungire parţială λ.

În aceste condiţii, exprimând alungirea totală:

$$\lambda_t = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \ldots \cdot \lambda_n = \frac{L_n}{L_0} = \frac{S_0}{S_n} \qquad (4.68)$$

în care: S_0, L_0 sunt secţiunea şi lungimea iniţială a semifabricatului;
S_n, L_n – secţiunea şi lungimea finală a produsului;
S_i, L_i – secţiunea şi lungimea semifabricatului în treceri intermediare.

Rezultă:

$$\lambda_t = \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_2}{S_3} \cdot \ldots \cdot \frac{S_{n-1}}{S_n} = \frac{S_0}{S_n} \qquad (4.69)$$

În relaţia (4.68), considerând $\lambda_1=\lambda_2=\ldots=\lambda_n=\lambda_m$ (alungire medie), rezultă:

$$\lambda_t = \lambda_m^n = \frac{S_0}{S_n} \qquad (4.70)$$

Deci dacă se pleacă de la un semifabricat de secţiune S_0 şi se doreşte un produs cu secţiunea S_n, alegându-se un λ_m admis, din (4.70) numărul de treceri la laminare este determinat:

$$n = \frac{\ln S_0 - \ln S_n}{\ln \lambda_m} \qquad (4.71)$$

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

Cilindrii de laminor sunt alcătuiţi din *partea activă* (tăblie), *Figura 4.34*, *fusurile de rotaţie* şi *partea de antrenare* (trefla).

Fusurile de rotaţie se sprijină pe lagăre, care la unul dintre cilindri, de regulă cel superior poate fi deplasat cu mecanisme speciale (şurub-piuliţă) pentru reglarea distanţei dintre cilindri. Ansamblul cilindrilor de laminor cu batiul de montaj formează aşa numita cajă de lucru, iar împreună cu celelalte subansamble - bare de cuplare, caja de angrenare, reductor, cuple, volanţi, electromotor, formează linia sau instalaţia de laminare, *Figura 4.35*.

Pentru antrenarea cilindrilor se folosesc motoare de curent alternativ sau de curent continuu. Motoarele de curent alternativ au o putere de până la 3000 KW de tip asincron şi se utilizează în special pentru laminoare nereversibile (cu cilindri care se rotesc într-un singur sens) şi care nu necesită variaţii mari de viteză şi prin urmare, motoarele de curent continuu se folosesc pentru variaţii de viteză şi şocuri mari la laminare.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

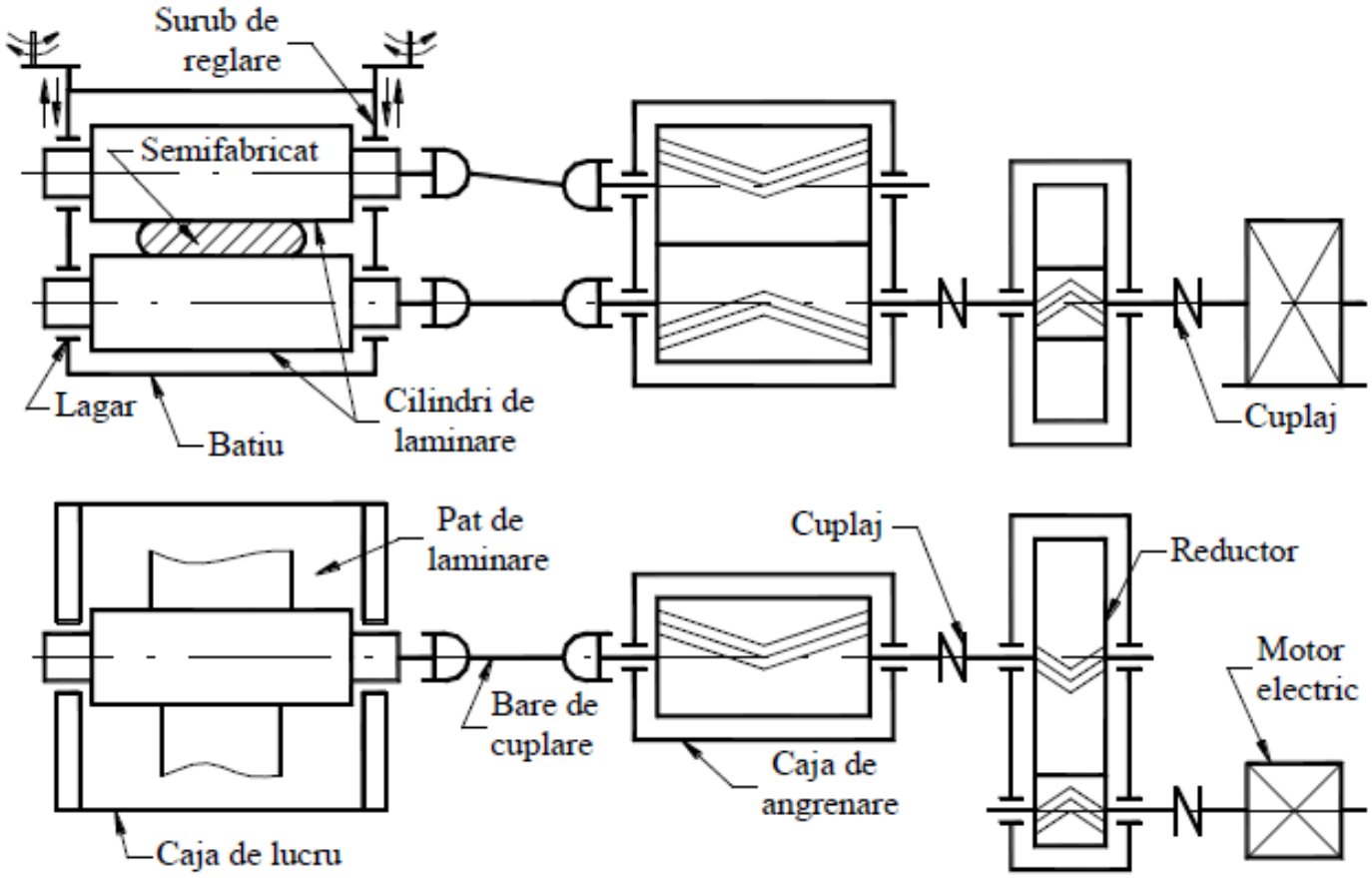


Figura 4.35. Schema de principiu a laminorului duo reversibil.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

Reductoarele se folosesc tot pentru laminoare nereversibile pentru a corela turaţia motorului cu turaţia de lucru a cilindrilor.

Volanţii au sarcina de a uniformiza funcţionarea prin acumulare de energie în timpul lucrului şi mai ales în pauze de laminare.

Cilindrii de laminor se execută din oţel (turnat sau forjat) şi din fontă având duritatea părţii active cuprinsă între 150÷800 HB.

Între dimensiunile principale ale cilindrilor există următoarele rapoarte:

$$1 < \frac{L}{D} < 4\,;\quad \frac{d}{D} = 0{,}55 \div 0{,}75\,;\quad \frac{l}{d} = 0{,}8 \div 1{,}2\,,$$

în care D, d şi L, l sunt diametrele şi lungimile părţii active, respectiv părţii de antrenare.

Barele de cuplare sunt astfel calculate, încât să nu se depăşească solicitările maxime admise în cilindri.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

Laminoarele se clasifică după mai multe criterii şi anume:

- după metalul prelucrat (laminoare pentru oţel, cupru, aluminiu, zinc, alamă etc.);
- după temperatura de lucru (laminoare la cald şi la rece);
- după sensul de rotaţie al cilindrilor (reversibile şi ireversibile);
- după numărul şi dispoziţia cilindrilor, *Figura 4.36*;
- după numărul şi dispoziţia cajelor de lucru, *Figura 4.37*.

La laminoarele cuarto, sexto şi cu mai mulţi cilindri, numai rolele mici sunt de lucru, ceilalţi cilindri sunt de sprijin şi de antrenare.

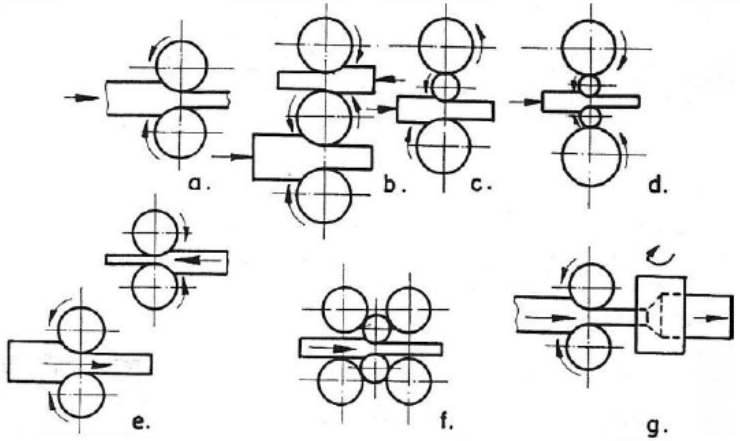


Figura 4.36. Tipuri de laminoare după numărul şi dispoziţia cilindrilor de lucru:
a – duo; b – trio; c – trio Lanth; d – cuarto; e – dublu duo; f – sexto; g – universale;

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

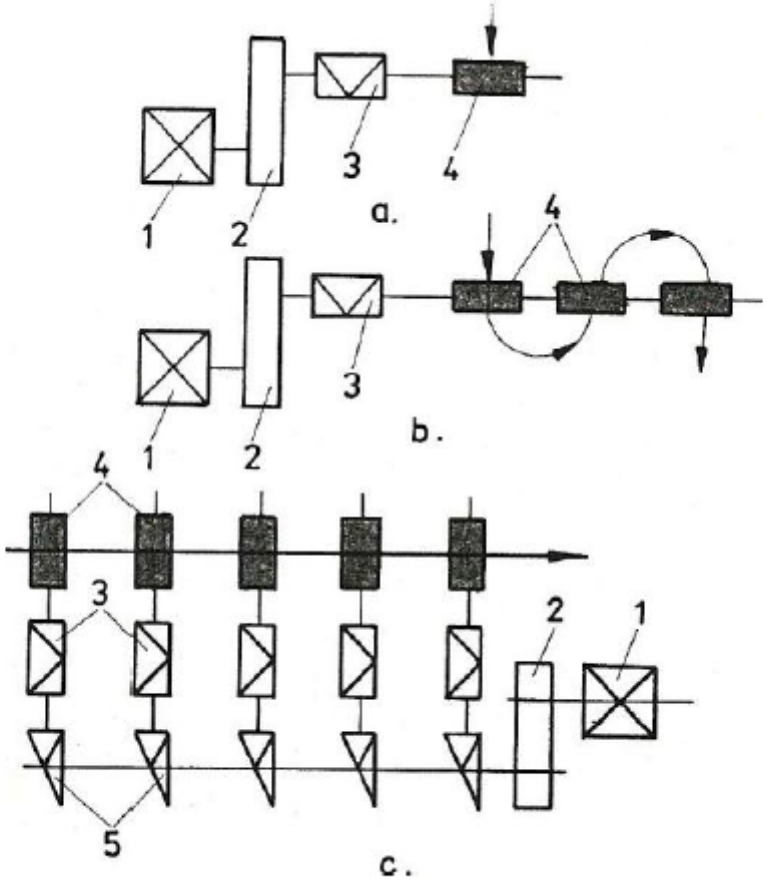


Figura 4.37. Tipuri de laminoare după numărul şi dispoziţia cajelor:
a – simplu cu o cajă; b – cu trei caje în linie; c – cu cinci caje în tandem, continuu.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Scule şi utilaje pentru laminare

La laminorul în linie, *Figura 4.37(b)*, la aceeaşi turaţie de lucru se realizează viteze de laminare diferite, variind diametrul cilindrilor din cajele de lucru şi reuşind astfel să se dispună un număr mult mai mare de calibre de-a lungul cajelor de lucru.

În laminoarele continui, aceasta se îmbunătăţeşte şi mai mult reuşindu-se turaţii diferite a cajelor de lucru succesive, fie prin acţionare centralizată cu grupuri conice ca în *Figura 4.37(c)*, fie asigurându-se pentru fiecare cajă de lucru un grup motor-reductor, corespunzător. În aceste condiţii, semifabricatul trece şi simultan prin caje succesive, ceea ce asigură o bună productivitate, se elimină timpii auxiliari, iar viteza de laminare atinge 50÷60m/s.

Pe de altă parte, laminoarele sunt specifice pentru sectorul de semifabricate şi pentru produse finite.

În prima categorie, din lingouri se obţin produse de secţiune mare, deosebindu-se: **blumingul** cu produsul *blum* necesar prelucrării în continuare pentru sortimentul produselor finite şi **slebingul**, care oferă *brame* pentru fabricarea tablelor şi alte semifabricate.

În a doua categorie intră **laminoarele pentru produse finite**, cum sunt *profilele, tablele, ţevile sârmele şi produsele speciale*.

De asemenea, denumirea laminoarelor se face pentru bluminguri şi slebinguri după diametrul cilindrilor de lucru, a tăbliei (de exemplu, bluming de 1500 mm), la laminorul de table după lungimea tăbliei cilindrului (de exemplu, laminor de 3600 mm), iar la ţevi se ia în codificare diametrul exterior al ţevii fabricate.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Tehnologia laminării

Tehnologia laminării la cald. Materia primă de bază se compune din lingouri (de diferite forme şi tipodimensiuni) sau alte semifabricate turnate continuu, dar şi provenite din forjare sau laminare anterioară (de exemplu, din semifabricate ale laminării: blumuri; brame; ţagle; platine).

În vederea laminării materia primă se pregăteşte: se alege după necesităţi, lingourile se curăţă, se debitează retasura, iar debitarea se face după legea volumului constant în funcţie de produsul de obţinut, apoi se execută încălzirea şi laminarea propriu-zisă.

Calibrele se aleg astfel încât laminarea produsului finit să se facă la o singură încălzire, respectându-se domeniul optim, care pentru oţel este între 1100÷1600 K. După calibrare, operaţie executată la temperatură mai mică decât cea de sfârşit de deformare, se procedează la tăierea produsului la dimensiuni prescrise.

Operaţiile de curăţire, sortare, depozitare şi control tehnic încheie procesul tehnologic de laminare la cald.

Tehnologia laminării la rece. În acest caz, un proces tehnologic trece prin următoarele operaţii: debitarea semifabricatului (produse obţinute prin laminarea la cald); curăţirea suprafeţei semifabricatului (îndepărtarea ţunderului de la laminarea la cald); laminarea propriu-zisă; tăierea la dimensiuni; tratamente termice (recoacere sau revenire); calibrare, operaţii suplimentare (curăţire, sortare etc.) şi control tehnic de calitate.

La ora actuală, spre exemplu, tabla laminată la rece din oţel atinge grosimea minimă de 0,15 mm, iar benzile merg până la grosime minimă de 0,0015 mm. Laminarea se face, de regulă, pe laminoare cu mai mulţi cilindri.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Fabricarea ţevilor

Ţevile, în practica industrială, se fabrică în principal prin două metode:

- fără sudură longitudinală;
- cu sudură longitudinală.

După prima metodă, fabricarea ţevilor comportă două faze:

- o primă fază, când din ţagla sau semifabricatul de pornire se obţine *eboşa*, o ţeavă scurtă cu pereţi groşi, perforarea făcându-se cel mai bine pe laminorul special, Mannesmann, *Figura 4.32(b)* sau prin forjare, *Figura 4.38*.
- o a doua fază când eboşa se prelucrează în vederea transformării în ţevi finite, calibrate după grosime de perete, diametru interior sau diametru exterior.

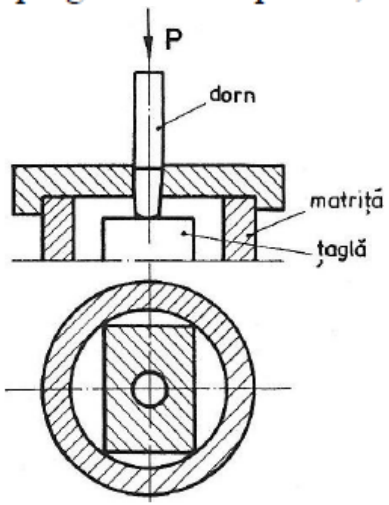


Figura 4.38. Schema perforării prin forjare.

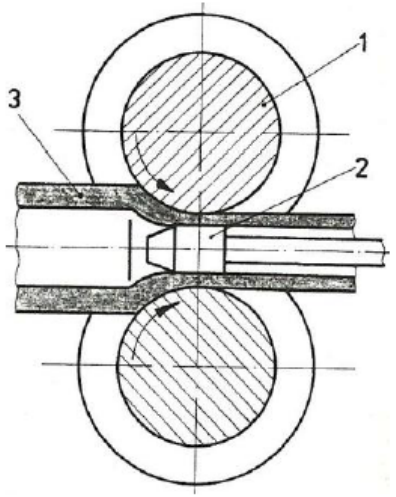


Figura 4.39. Schema laminării pe dorn:
1 – cilindru calibrat; 2 – dorn; 3 – eboşa.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Fabricarea ţevilor

Procedeele de prelucrare a eboşelor prin laminare, cele mai uzuale, sunt: laminarea pe bară; laminarea pe dorn; laminarea radială; laminarea reducătoare şi tragerea ţevii prin calibre pe un dorn.

Una din cele mai răspândite metode este prelucrarea pe dorn cu cilindri calibraţi, *Figura 4.39*, care poate lucra şi în sistem automat. Între *cilindrii calibraţi 1*, în jocul determinat de spaţiul calibrului, se plasează *dornul interschimbabil 2*. Jocul dintre calibru şi diametrul dornului determină grosimea peretelui ţevii la o trecere. Prin treceri succesive, cu schimbarea corespunzătoare a dornului *2*, se obţin ţevi de dimensiuni dorite. După ultima trecere se procedează la netezire şi calibrare.

Dacă se doreşte obţinerea de ţevi calibrate numai după diametrul exterior, atunci se folosesc linii de laminare continuă, *Figura 4.37(c)*, cu caje succesive prevăzute cu cilindri calibraţi. Se obţin ţevi cu grosime de perete sub 40 mm şi diametru exterior de 5÷426 mm.

După a doua metodă, ţevile se fabrică din bandă de tablă pentru ţevi sudate.

Procesul tehnologic presupune mai întâi formarea semifabricatului plan sub formă de tub, sudarea pe generatoare a marginilor şi reducerea diametrului ţevii la dimensiunea de ţeavă dorită.

Una din metodele industriale de fabricaţie este cu sudare cap la cap prin presare şi încălzire electrorezistivă de contact.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Laminarea metalelor

Fabricarea ţevilor

În acest caz ţevile se fabrică din bandă îndoită succesiv în formă de tub, iar presarea cu încălzire se face în ultima cajă de lucru, *Figura 4.40*, de către *rolele de antrenare şi presare* cu forţa *P* de forjare *2* şi *rola de contrapresiune 4*. După diametrul ţevii, numărul rolelor poate să crească. *Electrozii 3* sunt role din cupru izolate între ele, curentul de alimentare fiind de parametri puternici, respectiv de 30÷200 KA şi tensiunea de 4÷20 V.

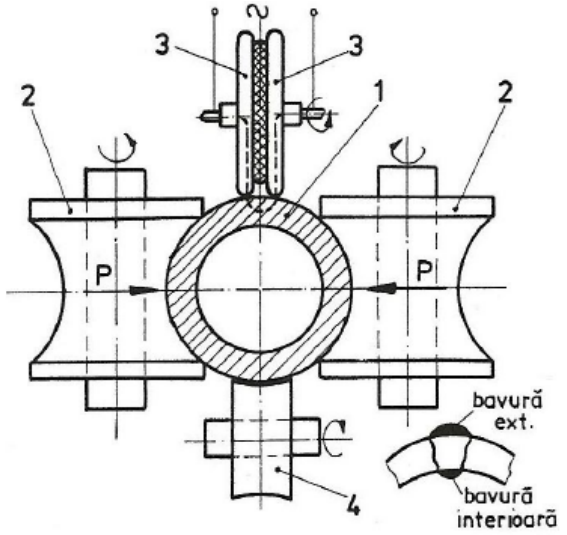


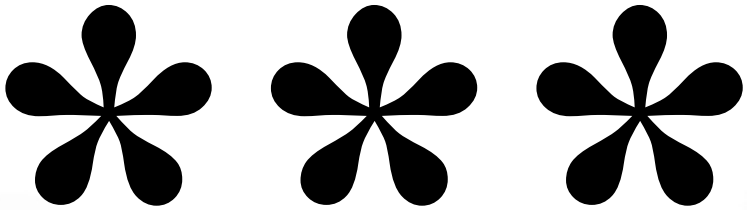
Figura 4.40. Schema cajei finale a trenului de laminare pentru ţevi sudate:
1 – ţeava adusă la rotund în caje anterioare; 2 – role de antrenare şi presare cu forţa *P*; 3 – role electrod izolate între ele; 4 – rolă de contrapresiune.

La închiderea circuitului prin cei doi electrozi şi marginile cap la cap ale semifabricatului se degajă o căldură suficientă pentru realizarea unei sudări prin presiune. Sudura rezultă şi cu o bavură de refulare, care se supune îndepărtării prin aşchiere.

Prin acest procedeu se fabrică ţevi cu diametrul între 10 şi 700 mm, cu grosime de perete de 0,8÷14 mm.

Ţevile astfel obţinute, pentru subţierea pereţilor şi calibrare se supun tragerii prin matriţe şi filiere.

Pentru ţevi de diametru mare şi foarte mare sudarea în linie sau elicoidală se poate face prin topire cu gaze şi în special cu arc electric sub strat de flux.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

- Extrudarea materialelor metalice
- Tragerea materialelor metalice

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Este procedeul de prelucrare prin deformare plastică la cald sau la rece, când materialul metalic (şi oricare alt material deformabil) aflat sub acţiunea unor forţe de compresiune foarte mari, capătă bune proprietăţi de plasticitate. Dacă în aceste condiţii, metalul poate eşapa prin orificii calibrate practicate în scule specializate (matriţe), atunci se pot obţine produse de compactitate ridicată şi de precizie ridicată.

Semifabricatul se introduce într-un container solidar sau asamblat împreună cu matriţa de extrudat, cunoscându-se trei moduri fundamentale de extrudare, *Figura 4.78*.

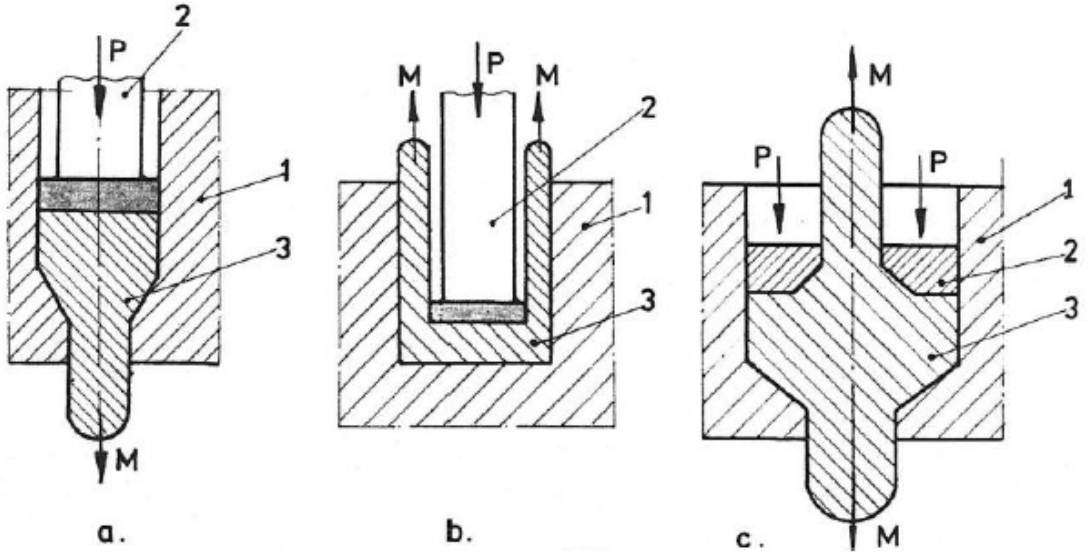


Figura 4.78. Scheme de extrudare:
a – directă; b – inversă; c – mixtă sau combinată;
1 – matriţă; 2 – poanson (presşaibă); 3 – semifabricat.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE
Extrudarea materialelor metalice

La **extrudarea directă**, metalul semifabricat curge în acelaşi sens cu sensul de înaintare a poansonului, pe când la **extrudarea inversă** aceste sensuri sunt inverse. **Extrudarea combinată** se realizează atunci când la un sens de înaintare al poansonului, metalul curge atât direct cât şi invers.

Una dintre particularităţile pozitive ale extrudării o reprezintă posibilitatea obţinerii fără distrugerea metalului, a unor grade mari de deformare, care cel mai bine se exprimă prin raportul K, a secţiunilor:

$$K = \frac{F_0}{F_1}, \qquad (4.114)$$

în care: F_0 este suprafaţa secţiunii transversale a semifabricatului iniţial;
F_1 – suprafaţa secţiunii transversale a produsului extrudat.

Pentru metalele moi K > 100, de exemplu, ţevi de aluminiu cu grosimea peretelui de 0,1÷0,2 mm la un diametru exterior de 20÷40 mm.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

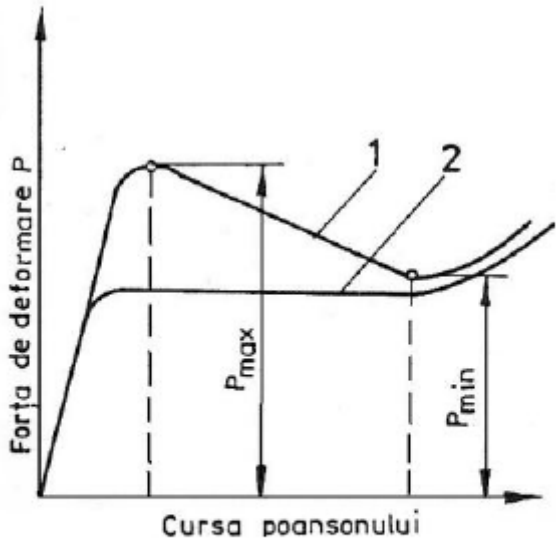


Figura 4.79. Variaţia forţei la extrudare:
1 – extrudare directă;
2 – extrudare inversă.

Aceste grade mari de deformare se datorează stării de tensiuni de compresiune tridimensională, neuniformă, care admite deviator. Aceste stări de compresiune de mare intensitate, prezintă şi unele dificultăţi:

- cu cât este mai mare gradul de deformare, cu atât mai mari sunt şi forţele de deformare;
- forţele specifice (presiunile) pe suprafeţele active ale poansoanelor şi matriţelor, pot atinge valori care să depăşească de câteva ori limita de curgere a metalului deformat şi pot astfel depăşi valorile de rezistenţă şi de durabilitate ale sculelor.

Pe de altă parte, forţa necesară extrudării, P, variază în proces, *Figura 4.79*, şi se poate calcula simplu, cu relaţia (4.115).

$$P = p \cdot A \text{ , [daN]} \qquad (4.115)$$

în care: p este presiunea de deformare a materialelor, în daN/mm^2;
A – aria secţiunii transversale a părţii active a poansonului, în mm^2.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE
Extrudarea materialelor metalice

Determinarea presiunii de deformare se poate face analitic, prin relaţii specifice din literatura de specialitate, (4.116) sau grafic din nomograme ori se alege din tabele cu date experimentale.

$$p = c \cdot \sigma_c \left(1 + \mu \frac{L}{D} \right) ln \frac{A_0}{A_f}, \qquad (4.116)$$

în care:
- σ_c este limita de curgere a metalului în condiţiile date ale deformării;
- μ – coeficientul de frecare exterioară;
- L – lungimea semifabricatului iniţial;
- D – diametrul semifabricatului iniţial;
- A_0 – suprafaţa semifabricatului înainte de extrudare;
- A_1 – suprafaţa semifabricatului după de extrudare;
- c – coeficient care ţine seama de forma matriţei.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE
Extrudarea materialelor metalice

Procesul tehnologic de extrudare cuprinde, în principal, următoarele operaţii:

- debitarea semifabricatului de pornire;
- pregătirea semifabricatului pentru extrudare (prerefulare, recoacere, curăţire, fosfatare, lubrifiere);
- extrudarea propriu-zisă (pe prese mecanice cu alimentare manuală sau automată);
- operaţii de completare (retezare, găurire, calibrare etc.);
- controlul tehnic de calitate.

Rezolvarea optimă a extrudării, reclamă reducerea la maximum a frecării metal-scule şi corelarea dintre deformabilitatea metalului şi tipul piesei de obţinut, fie prin extrudare la cald, fie prin extrudare la rece, toate conducând la forţe necesare de deformare cât mai mici şi atenuarea la maximum a uzurii sculelor.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Factorii principali de influenţă în procesul extrudării

Pentru ca un proces de extrudare să se desfăşoare optim, cu obţinerea de piese fără defecte, trebuie să se cunoască influenţa unor factori importanţi, cum sunt: forţa de extrudare; temperatura de lucru; viteza de deformare şi lubrifierea.

Forţa de extrudare, prezentată anterior, relaţiile (4.115) şi (4.116), depinde de metoda de extrudare, *Figura 4.79*, materialul de prelucrat (plastic sau mai greu deformabil), gradul de extrudare, temperatura de lucru, frecarea material-scule etc.

Aşa cum se vede în *Figura 4.79*, forţa de extrudare este mai mică la extrudarea inversă decât la cea directă, prin faptul că se reduc suprafeţele de frecare relativă în proces. Totuşi, forţele specifice la extrudare rămân destul de ridicate.

Temperatura de extrudare. Extrudarea la cald se aplică tuturor metalelor şi aliajelor. La alegerea temperaturii de extrudare trebuie să se ţină seama că ea trebuie să rămână mereu sub temperatura de topire sau cea de apariţie a fragilităţii la roşu a metalului extrudat. Din acest punct de vedere, în practică pentru a asigura reducerea la maximum a uzurii sculelor şi pentru a facilita o ungere mai uşoară, extrudarea trebuie făcută la o temperatură cât mai mică, dar la care plasticitatea metalului să fie satisfăcătoare. În acelaşi timp trebuie să se ţină cont şi de efectul termic puternic al deformării plastice la grade mari de deformare. De exemplu, rezistenţa la deformare a oţelului carbon la 1250÷1150°C este de 12÷15 daN/mm^2, a oţelului inoxidabil 18/8 la 1250÷1150°C este de 15÷21 daN/mm^2, a alamei 60/40 la 725÷550°C este de 10÷18 daN/mm^2, iar a aluminiului cu 4,5% cupru la 400÷350°C este de 10÷14 daN/mm^2.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Factorii principali de influenţă în procesul extrudării

Viteza de extrudare, poate influenţa atât presiunea de deformare la extrudare, cât şi starea termică a semifabricatului. Astfel, la creşterea de 10 ori a vitezei, presiunea de deformare poate să crească cu până la 50%.

La materialele greu deformabile care necesită temperaturi înalte, extrudarea trebuie să se facă cu viteză mare pentru a atenua răcirea şi creşterea rezistenţei la deformare a materialului. Alegerea vitezei optime se face prin încercări ţinând cont de gradul de deformare, presiunea de lucru şi temperatură.

Lubrifierea. În procesul de extrudare pot apare forţe considerabile de frecare între semifabricat şi scule. Astfel, prin tehnica marcării, aspectul curgerii metalului la extrudare, cu sau fără lubrifiere se vede în *Figura 4.80*.

Capătul barei extrudate, rezultă cu o serie de straturi tubulat concentrice diferenţiat deformate, atât în sensul secţiunii transversale cât şi pe lungimea produsului obţinut.

Lubrifianţii conduc la uniformizarea deformaţiei. De asemenea, condiţiile grele de lucru, în special la cald, reclamă totodată lubrifianţi care să reziste la mari presiuni de strivire, la care trebuie adăugate şi o bună stabilitate şi pasivitate faţă de metalul prelucrat.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Factorii principali de influenţă în procesul extrudării

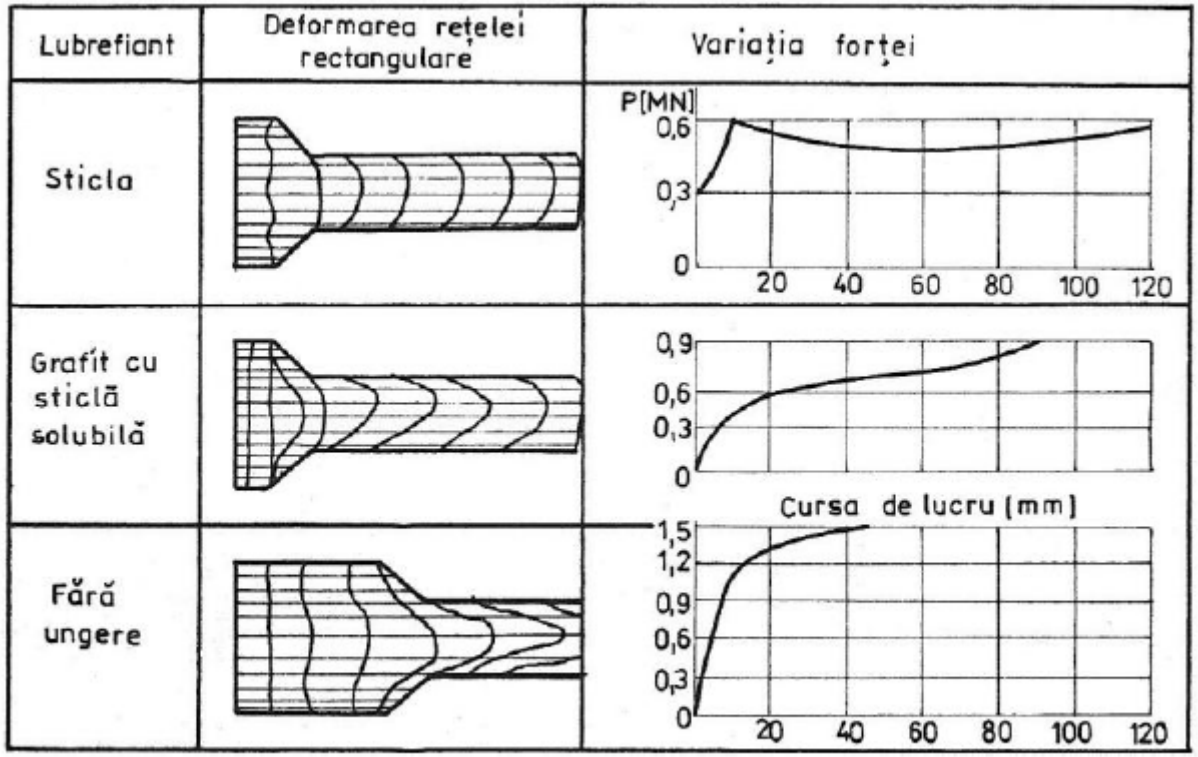


Figura 4.80. Influenţa ungerii asupra neuniformităţii deformaţiei la extrudare.

Pe lângă unii lubrifianţi universali cum sunt grafitul şi bisulfura de molibden, au fost creaţi şi lubrifianţi speciali, care pentru oţeluri sunt de natură vitroasă pe bază de sticlă şi alţi compuşi similari. O reţetă de sticlă ca lubrifiant la extrudare, este de forma: 60% SiO_2; 15% CaO; 15% Na_2O; 3% Al_2O_3; 3% B_2O_3 şi 4% alte elemente.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Aspecte privind extrudarea la rece

Prin extrudare la rece, se obţin numai piese finite, cu diametrul cuprins între 5 şi 150 mm, iar lungimea între 5 şi 1200 mm. Se obţin piese cu toleranţe strânse, cu suprafeţe curate, oţelul se durifică şi-i creşte prin urmare, rezistenţa la rupere.

Neraţională şi neeconomică se consideră extrudarea oţelurilor, dacă forţa specifică pe suprafaţa activă a poansonului depăşeşte 200÷220 daN/mm^2, iar la o singură trecere nu se permit grade de deformare mai mari de 25%. De aici, extrudarea la rece se aplică în afara neferoaselor, numai oţelurilor cu puţin carbon şi pentru piese mai simple.

În vederea extrudării la rece se execută o serie de operaţii pregătitoare, cum sunt:

- recoacerea de înmuiere, pentru semifabricate ecruisate;
- curăţirea de oxizi, prin decapare, în tobe, prin sablare sau aşchiere;
- spălarea după decapare;
- degresarea pentru semifabricate livrate unse, care se face în băi de degresare, 10÷15 minute la 340÷350 K;

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Aspecte privind extrudarea la rece

- decaparea pentru oxizi a oţelului se face în băi de H_2SO_4, concentraţie 10÷30%, timp de 10÷15 minute, la 320÷350 K;
- neutralizarea în băi cu soluţie de 50 g/l sodă şi 10 g/l săpun;
- ungerea, pentru a reduce la maximum forţele de frecare în procesul extrudării.

Cea mai bună pregătire a suprafeţei se face prin fosfatare şi ungere tehnologică. Se obţine astfel un strat solid, poros, aderent, capabil în acelaşi timp să absoarbă unguentul tehnologic. Drept unguent se foloseşte grafitul (mai puţin) şi în special bisulfura de molibden (MoS_2).

Se supun extrudării la rece oţelurile cu un grad de refulare mai mare de 60%.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Utilajele şi sculele extrudării

Ca *utilaje* de bază se folosesc presele pentru extrudare. Astfel, pentru forţe de până la 1000 tf, sunt recomandate presele mecanice, iar pentru forţe mai mari presele hidraulice.

Dintre presele mecanice, mai utilizate sunt: presele cu excentric; presele cu genunchi şi presele cu manivelă. Toate presele mecanice au dezavantajul că forţa nu este constantă pe întreaga cursă, aşa cum este la presele hidraulice, *Figura 4.81*.

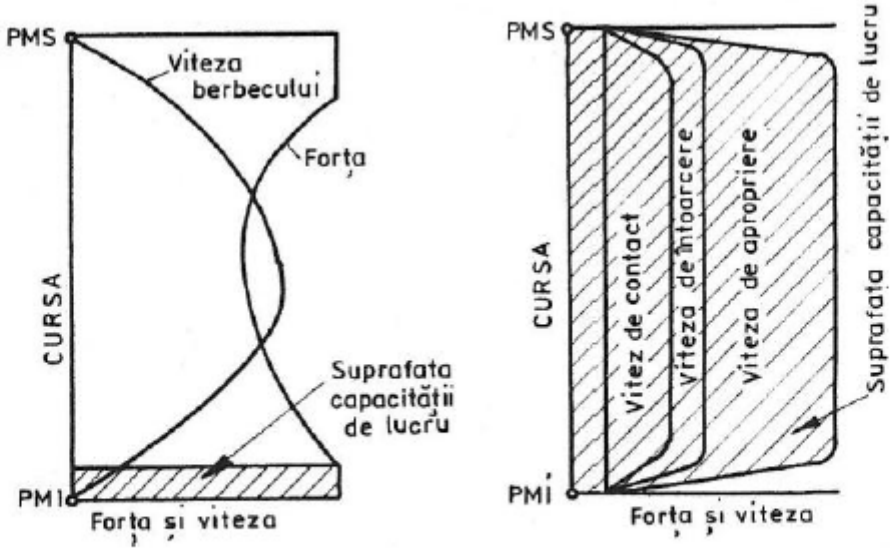


Figura 4.81. Schema grafică a variaţiei parametrilor funcţionali a unor prese pentru extrudare:
a – presa cu manivelă; b – presa hidraulică; PMS, PMI – punctul mort superior, respectiv inferior.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Utilajele şi sculele extrudării

Presele utilizate pentru extrudare trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- forţa nominală să fie eficace pe o distanţă mare din cursă; maşinile trebuie să fie rigide, fără arcuire între masă şi berbec; ghidajele să fie lungi; presele hidraulice să menţină presiunea pe întregul ciclu de extrudare; utilajele să fie prevăzute cu sisteme de aruncare sincrone cu restul mişcărilor.

Presele mecanice sunt mai practice din următoarele considerente: au cursa berbecului reglabilă; se pot monta extractoare şi în masă şi în berbec; alimentarea se poate face automat prin comandă de la manivelă; puterea de acţionare mică; numărul curselor pe minut mare.

Ca urmare, alegerea unei prese pentru extrudare se face pe baza următorilor parametri: forţa de lucru; energia nominală; cursa berbecului şi numărul de curse pe minut. Cea mai bună presă va fi aceea care poate să asigure în proces o forţă şi un lucru mecanic constant pe întreaga cursă.

Sculele pentru extrudare, sunt seturi de matriţe şi poansoane, specifice metodelor de extrudare: directe; inverse şi combinate.

Matriţa pentru extrudare, pentru cele două moduri fundamentale de extrudare (directă şi inversă) este reprezentată în *Figura 4.82*.

Extrudarea materialelor metalice

Utilajele şi sculele extrudării

O atenţie deosebită se dă alegerii geometriei matriţei. Astfel, în funcţie de metalul extrudat, unghiul $2\alpha = 90 \div 130^{\circ}$ pentru materiale cu o bună plasticitate şi sub 90° pentru cele cu plasticitate scăzută. Ca materiale, matriţele se execută din oţeluri aliate cu crom şi wolfram, conţinând 0,35% C, 3% Cr şi 9% W.

Containerul de care se ataşează matriţele trebuie să reziste la regimul greu al extrudării şi se construiesc în sistem fretat, cu mai multe cămăşi. Cămaşa interioară se execută din oţel aliat, rezistent termic şi la şoc, de compoziţie: 0,35% C; 5,25% Cr; 1,25% Mo; 1% V; 1,1% Si.

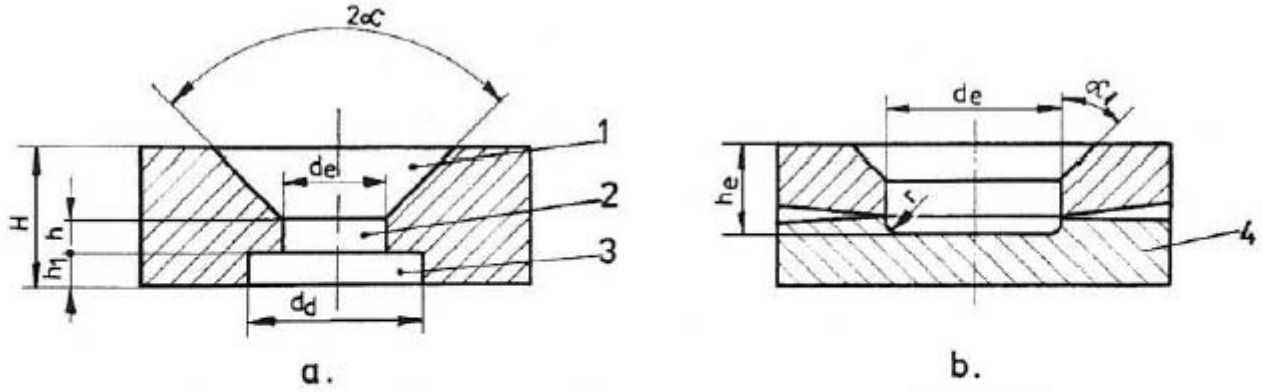


Figura 4.82. Sisteme de matriţe pentru extrudare:
a – directă; b – inversă; 1 – con de deformare; 2 – cilindru de calibrare; 3 – cilindru de ieşire; 4 – inel de ghidare; d_e – diametrul extrudatului; d_d – diametrul de degajare; r – rază de racordare; α_1 – evazare.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Utilajele şi sculele extrudării

Poansonul, diferă după metoda de extrudare. Forma clasică a unui poanson se prezintă în *Figura 4.83*. În funcţie de modul de extrudare se modifică forma zonei active, *Figura 4.84*.

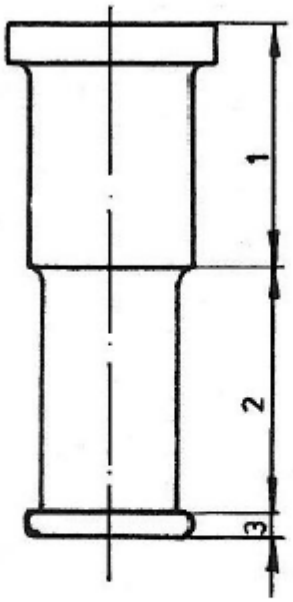


Figura 4.83. Schema unui poanson de extrudare:
1 – zona de prindere; 2 – corpul poansonului; 3 – zona activă.

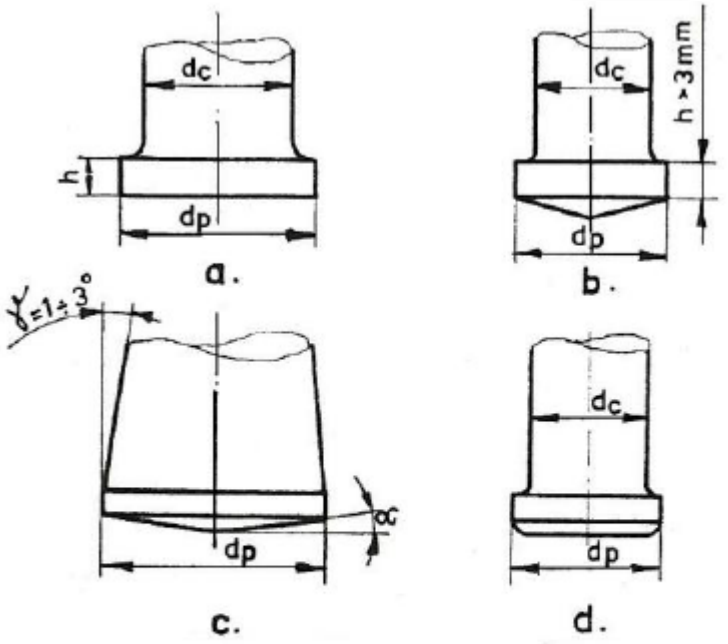


Figura 4.84. Forma zonei active a poansonului:
a – plat; b – conic – la extrudarea directă;
c – conic; d – plat – la extrudarea inversă.

Extrudarea materialelor metalice

Utilajele şi sculele extrudării

Între diametrul poansonului d_p şi a corpului d_e există o diferenţă pentru a reduce la maximum frecarea metal-scule.

Poansoanele se execută din oţeluri obişnuite de scule pentru extrudarea materialelor cu plasticitate ridicată şi din oţeluri rapide cu Mo sau carburi metalice pentru materialele cu plasticitate redusă. Părţile active se prelucrează fin şi se tratează termic prin călire la o duritate de 55÷66 HRC.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Defectele produselor extrudate şi aplicabilitatea extrudării

Datorită frecării metal-scule şi altor factori de influenţă, curgerea metalului la extrudare nu se face în toate punctele materiale cu viteză constantă şi apar o serie de defecte interioare şi exterioare.

Ca ***defecte exterioare*** sau de suprafaţă se deosebesc, *Figura 4.85*:

- *fisuri transversale* discontinui, puţin adânci şi care apar la materiale cu coeziune slabă, extrudate cu viteze mari şi la temperaturi ridicate, *Figura 4.85(a)*;
- *inelele*, tot fisuri transversale, dar continui, la intervale regulate şi se formează la materialele cu limită de elasticitate ridicată, aproape de limita de curgere, *Figura 4.85(b)*;
- *coajă de palmier*, care apare la materialele cu tenacitate şi ductilitate suficientă, ca urmare a formării unei fisuri transversale la inelul matriţei care se roteşte în sensul axei produsului, *Figura 4.85(c)*.

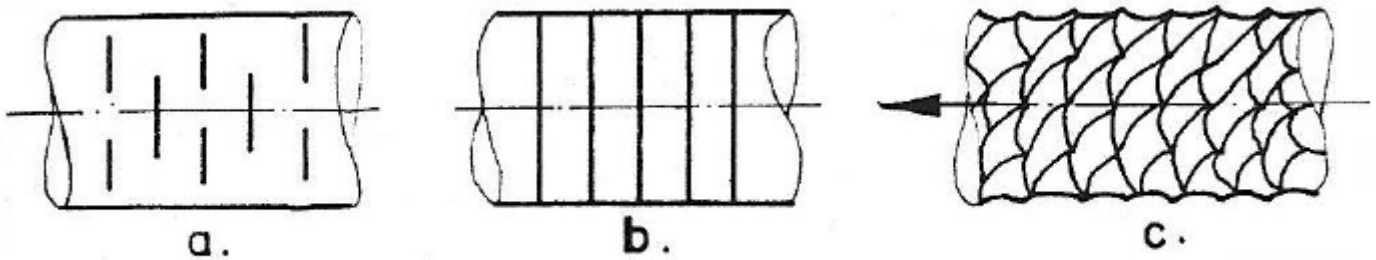


Figura 4.85. Defecte de suprafaţă ale produsului extrudat.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Extrudarea materialelor metalice

Defectele produselor extrudate şi aplicabilitatea extrudării

Ca ***defecte interioare***, cauzate mai ales de frecări, se deosebesc:

- *porozitatea*, în zonele centrale, unde forţa specifică este mică;
- *tubajul*, în sensul că între miez şi stratul exterior apare o diferenţă mare de curgere, datorită frecărilor intense între material şi scule;

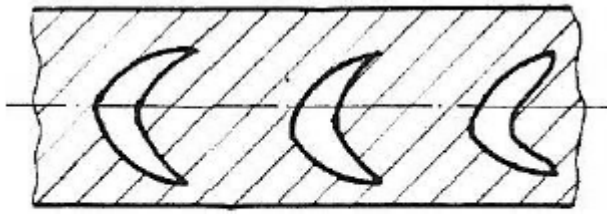


Figura 4.86. Defectul interior vârf de lance sau cavităţi Treska.

- *cavităţile în vârf de lance, Figura 4.86*, apar atunci când diferenţa dintre coeficientul de frecare intern şi extern este foarte mare. În acest caz, în miezul materialului apar rupturi transversale datorită tensiunilor de întindere. Aceste cavităţi sunt vidate şi pot fi turtite de presiunea exterioară.

Aplicabilitatea extrudării metalelor este legată strict de criteriul economic, în care sens se recomandă următoarele serii de fabricaţie:

- la piese cu masa până la 100 g, 40000 bucăţi;
- la piese cu masa de 100÷500 g, 20000 bucăţi;
- la piese cu masa mai mare de 500 g, 10000 bucăţi.

Se pot astfel fabrica, piese pline cu cap divers sau tip în trepte, ca şi piese de tip pahar cu pereţi groşi sau subţiri şi etajaţi.

Dacă aplicabilitatea se justifică economic, într-adevăr extrudarea ne oferă semifabricate sau produse finite cu minimum de operaţii şi cu o precizie bună.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Tragerea este procedeul de deformare plastică a materialelor metalice sub acţiunea unei forţe de tracţiune pentru obţinerea barelor, sârmelor şi a ţevilor, prin trecerea forţată a unui material ductil printr-o matriţă, a cărei secţiune este mai mică decât secţiunea iniţială a semifabricatului, *Figura 4.87*.

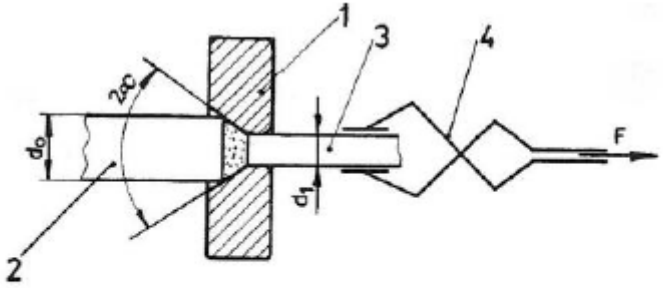


Figura 4.87. Principiul tragerii:
1 – filieră; 2 – semifabricat; 3 – produs tras; 4 – cleşte; 2α – deschiderea filierei.

Procedeul, în cazul fabricării sârmelor, se numeşte *trefilare*, iar matriţa poartă numele de filieră. Reducerile parţiale, după natura materialului variază între 10 şi 45%, iar gradul total de reducere poate atinge chiar 95%.

Aprecierea deformaţiei materialului prin tragere şi trefilare, se poate face printr-o serie de mărimi caracteristice, cum sunt:

- reducerea absolută de secţiune, $\Delta_a = A_0 - A_1$;
- reducerea relativă de secţiune, $\Delta_r = \frac{A_o - A_1}{A_0} = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2}$;
- reducerea procentuală de secţiune, $\Delta_p = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} \cdot 100\,[\%]$;

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

- lungirea absolută, $\lambda_a = l_1 - l_0$;
- lungirea relativă, $\lambda_r = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$;
- lungirea procentuală, $\lambda_p = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\,[\%]$;
- coeficientul de lungire, $\mu_l = \frac{l_1}{l_0}$;
- coeficientul reducerii de secţiune, $k = \frac{A_1}{A_0} < 1$,

în care: A_0, l_0, d_0 este aria secţiunii transversale, lungimea şi diametrul semifabricatului;
A_1, l_1, d_1 – aria secţiunii transversale, lungimea şi diametrul piesei deformate.

La trecerea printr-o filieră, metalul se ecruisează şi în vederea continuării tragerii este necesară recoacerea de recristalizare.

Pentru cazurile reale, tragerea trebuie rezolvată din punct de vedere al forţei de tragere, dar şi al condiţiei tragerii, adică o tragere-trefilare care să realizeze deformarea fără ruperea metalului la ieşirea din matriţă.

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Adesea, forţa de tragere F, se determină cu formule empirice (determinate experimental), de forma:

$$F = C \cdot \sigma_m (A_0 - A_1) \text{ [daN]}, \quad (4.117)$$

în care: σ_m este rezistenţa medie la deformare a materialului, în daN/mm^2;

C – constantă funcţie de coeficientul de frecare metal-scule (μ) şi deschiderea filierei (2α), *Tabelul 4.7*.

Tabelul 4.7. Valoarea constantei C.

μ / 2α	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
	C					
8°	1,55	1,86	2,14	2,43	2,72	3,00
10°	1,45	1,69	1,91	2,14	2,37	2,60
12°	1,38	1,57	1,76	1,95	2,14	2,53
14°	1,33	1,49	1,65	1,81	1,97	2,40
16°	1,28	1,43	1,57	1,71	1,85	2,00
18°	1,25	1,38	1,49	1,61	1,73	1,86
20°	1,23	1,34	1,45	1,57	1,68	1,74

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

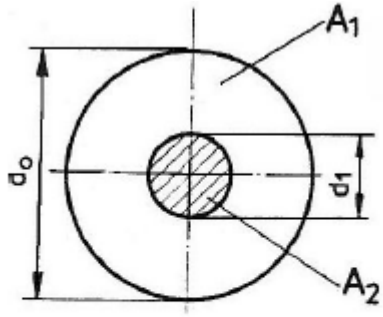


Figura 4.88. Secţiune prin filieră la ieşirea din conul de deformare.

Pentru determinarea condiţiei de tragere se pleacă de la definirea coeficientului de reducere a secţiunii K, aplicat pe întreaga suprafaţă activă a zonei de contact material-cilindru din zona de atac (a deschiderii 2α), *Figura 4.87*. Făcând o secţiune la ieşirea din conul zonei 2α, *Figura 4.88*, se disting suprafeţele A_1 pe care metalul este puternic comprimat şi A_2, pe care este supus tracţiunii.

Dacă F_c este forţa de compresiune pe suprafaţa A_1 şi F_t este forţa de tracţiune la nivelul suprafeţei A_2, atunci pentru un semifabricat cilindric se scrie:

$$F_c = \frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - d_1^2\right)\sigma_c \ ,$$

$$F_t = \frac{\pi d_1^2}{4}\sigma_t \ .$$

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Pentru ca tragerea să fie posibilă este necesar ca:

$$F_t \geq F_c \text{ şi } \sigma_t < \sigma_r ,$$

în care: σ_r este limita de rupere a metalului;

σ_t – efortul unitar de tracţiune.

La limită,

$$\frac{\pi d_1^2}{4}\sigma_t = \frac{\pi}{4}\left(d_0^2 - d_1^2\right)\sigma_c$$

sau

$$d_1^2\left(\sigma_t + \sigma_c\right) = d_0^2\sigma_c$$

şi

$$\frac{d_1^2}{d_0^2} = \frac{\sigma_c}{\sigma_t + \sigma_c} = K . \qquad (4.118)$$

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Cu ajutorul coeficientului de tragere rezultat din relaţia (4.118), se poate determina numărul de treceri, n, atunci când reducerea este mai mare de 45%, astfel, $d_1^2 = K \cdot d_0^2$, de unde rezultă $d_1 = \sqrt{K} \cdot d_0$. Prin aproximarea $\sqrt{K} \approx K$, se pot scrie relaţiile:

$$d_1 = K \cdot d_0;$$

$$d_2 = K \cdot d_1 = K^2 \cdot d_0;$$

$$d_3 = K \cdot d_2 = K^3 \cdot d_0;$$

$$\vdots$$

$$d_n = K \cdot d_{n-1} = K^n \cdot d_0,$$

iar din ultima expresie, prin logaritmare, se determină numărul de treceri, n:

$$\ln d_n = n \cdot \ln K + \ln d_0 \text{ sau,}$$

$$n = \frac{\ln d_n - \ln d_0}{\ln K}. \qquad (4.119)$$

Factorii care influenţează tragerea, în principal, sunt următorii: calitatea suprafeţei metalului tras şi a sculelor; viteza de tragere, *Tabelul 4.8*; gradul de tensionare la tragere; materialul filierei şi caracteristicile geometrice de formă; lubrifiantul tehnologic folosit.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Tabelul 4.8. Viteza de tragere.

MATERIAL	Viteza de trefilare, în m/min
Oţel moale (sârmă de $\phi 2$ mm)	600
Oţel moale (sârmă de $\phi 0{,}5$ mm)	1100
Cupru (sârmă de $\phi 2$ mm)	700
Cupru (sârmă de $\phi 0{,}5$ mm)	2000

Forţa de tragere şi numărul de treceri trebuie să fie cât mai reduse pentru a economisi energie şi timp.

Gradul de tensionare, prin care se înţelege raportul dintre tensiunea de tragere şi rezistenţa la rupere $a = (\sigma_t / \sigma_r) \cdot 100$ şi care nu trebuie să depăşească 75% datorită defectelor inevitabile de material, a distribuţiei neuniforme a tensiunilor, a şocurilor la pornirea maşinilor de trefilat, ceea ce corespunde la o reducere într-o trecere, sub 40%.

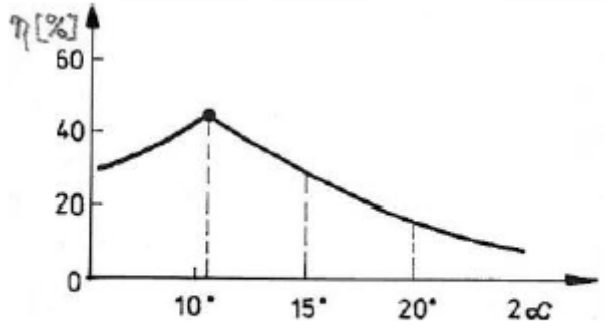


Figura 4.89. Influenţa deschiderii 2α asupra randamentului trefilării.

Viteza de trefilare, dependentă de performanţele maşinilor, trebuie să crească la valoarea maximă treptat, fără şocuri.

Deschiderea filierei 2α influenţează foarte mult asupra randamentului trefilării, *Figura 4.89*. Randamentul maxim la trefilare se atinge la o deschidere $2\alpha = 10 \div 12°$.

Randamentul este influenţat de gradul de reducere, precum si de materialul filierei.

Tragerea materialelor metalice

Bazele teoretice ale tragerii

Asupra trefilării o mare influenţă manifestă şi lubrifiantul, cel mai utilizat fiind săpunul praf uscat şi uleiul de rapiţă.

De asemenea, experimental s-a demonstrat, că prin rotirea filierei la o turaţie de 3300 rot/min, forţa de trefilare scade cu 75%, suprafaţa sârmei este mai netedă şi mai uniformă, ovalizări reduse, durabilitatea filierei creşte, singurul impediment fiind complicaţia funcţională a maşinilor de trefilat.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Influenţa trefilării asupra proprietăţilor materialului

În urma trefilării, materialul se ecruisează şi proprietăţile mecanice se modifică substanţial, astfel:

- rezistenţa la rupere, limita de curgere şi limita elastică, pentru oţeluri, manifestă tendinţă de creştere, *Figura 4.90*;

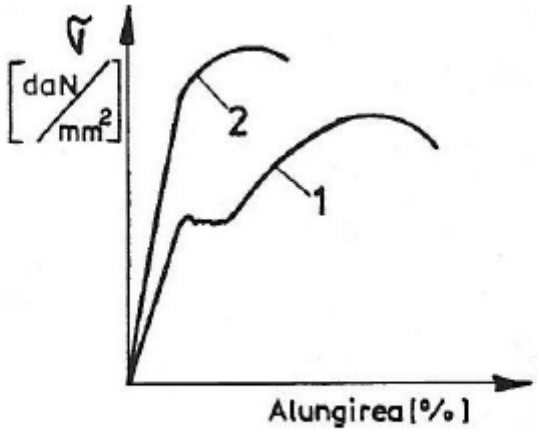


Figura 4.90. Influenţa trefilării asupra unor caracteristici mecanice la oţel cu puţin carbon:
1 – înainte de trefilare; 2 – după trefilare.

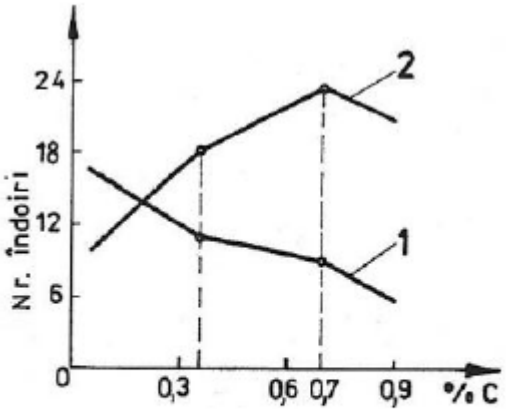


Figura 4.91. Rezistenţa la îndoiri repetate la oţel:
1 – netrefilat; 2 – trefilat.

- cu creşterea reducerii secţiunii şi a deschiderii filierei, rezistenţa la compresiune creşte şi rezilienţa scade;
- duritatea în urma trefilării creşte, cu excepţia unui mic strat de suprafaţă, de unde duritatea maximă se măsoară sub 1,5÷2,5 mm de la suprafaţa materialului trefilat;

Tragerea materialelor metalice

Influenţa trefilării asupra proprietăţilor materialului

- numărul de îndoiri până la rupere este legat de procentul de carbon, *Figura 4.91*, şi prin urmare, conform experimentărilor oţelul cu 0,7% C este rezistent la îndoiri repetate;

- dintre proprietăţile fizice, greutatea specifică scade cu reducerea secţiunii, în acelaşi sens manifestându-se şi permeabilitatea magnetică (μ de la 1091 la 380 după 8 treceri) şi de asemenea, conductivitatea scade cu creşterea reducerii.

Structura se modifică de la prima trecere, în sensul că ferita cu puţin carbon se alungeşte şi la treceri înaintate se obţine aspectul tipic fibros, anizotrop. Din punct de vedere chimic, datorită ecruisării, scade rezistenţa la coroziune în medii acide.

Redresarea materialului privind ajustarea proprietăţilor după trefilare, nu se poate face decât aplicând un tratament termic de recoacere corespunzător.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Tehnologia tragerii-trefilării

Procesul tehnologic de tragere-trefilare, cuprinde operaţiile: pregătirea materialului; tragerea propriu-zisă; tratamente termice; operaţii de completare (curăţire, control etc.).

Pregătirea materialului. Ca materie primă pentru trefilare se foloseşte sârma laminată, care este acoperită cu oxizi (ţunder) şi prin urmare, se impune o pregătire în prealabil trefilării. Această pregătire se face după următorul traseu operaţional:

- decapare, curăţire de oxizi, care se poate face mecanic (cu role, prin izbire, cu perii rotative, prin sablare), termic (sârmă încălzită şi răcită în apă – bazată pe diferenţa contracţiei oxidului şi oţelului), chimic (în soluţii acide, de regulă soluţii 10% H_2SO_4 încălzită la 330÷340 K, folosindu-se şi limitatori cum ar fi amidonul, sarea de bucătărie, care aderă la metalul curat şi împiedică coroziunea în profunzime);
- spălarea, pentru îndepărtarea urmelor de acizi şi oxizi;
- neutralizarea, în băi cu var încălzite la 400 K. Stratul de var joacă şi rol de unguent alături de lubrifiantul tehnologic;
- uscarea sârmei, ca ultimă operaţie, înainte de trefilare, care se face în cuptoare la 300÷350 K, timp de circa 30 minute.

De asemenea, pentru sârmele din oţel cu cel puţin 0,25% C, se aplică tratamentul termic de patentare, care urmăreşte obţinerea unei structuri sorbitice cu mare capacitate de deformare şi în acelaşi timp după trefilare se asigură o înaltă rezistenţă sârmei trefilate.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Tehnologia tragerii-trefilării

Patentarea, constă într-o încălzire pentru austenitizare, urmată de o răcire cu viteză controlată în băi cu săruri sau plumb topit, realizându-se astfel o încălzire aproape izotermă, *Figura 4.92*.

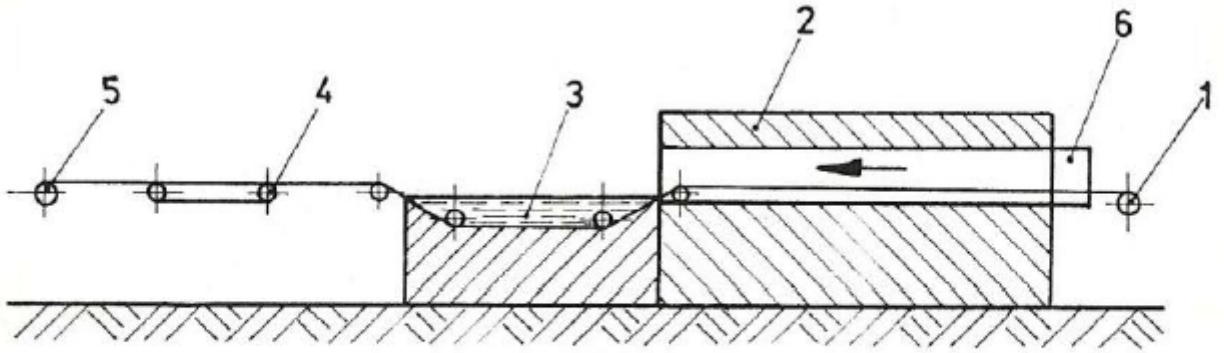


Figura 4.92. Instalaţie de patentare:
1 – vârtelniţă; 2 – cuptor; 3 – baie de plumb; 4 – role de ghidaj; 5 – tobă de înfăşurare; 6 – cutii de etanşare.

Pentru acoperiri de protecţie îndelungată se poate practica şi zincarea, cositorirea etc. Pentru protecţie de scurtă durată, dar şi pentru a uşura trefilarea se obişnuieşte cuprarea (prin menţinerea sârmei un timp determinat în soluţii apoase de $CuSO_4$).

Pregătirea sârmei pentru trefilare, ca şi a barelor pentru tragere, necesită şi ascuţirea capătului pentru introducerea prin filiere-matriţe şi prinderea în capul de tragere.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

Utilajul de bază pentru tragere şi trefilare, se compune din scule, filiere ca unelte de bază, portfiliere şi instalaţii de forţă, la care se mai adaugă, instalaţii şi maşini de ascuţit bare şi sârme, instalaţii de tratament termic, instalaţii de decapare, maşini de sudat cap la cap etc.

Filiera. Se caracterizează prin mărimea şi forma secţiunii transversale în zona cea mai îngustă, ca şi prin profilul în secţiune longitudinală, *Figura 4.93*, ca o succesiune de zone tronconice racordate unei zone cilindrice.

Zona de intrare 1, are rolul de a proteja faţa frontală a filierei, evitându-se muchiile ascuţite şi ruperea fragilă.

Zona de ungere 2, antrenează unguentul acumulat şi unghiul la vârf este de circa 90°.

Zona de deformare 3, asigură gradul de reducere (de 10÷25% pentru sârmele subţiri şi 20÷50% pentru sârme groase şi bare) şi are o deschidere 2α variabilă, *Figura 4.87*, care nu depăşeşte 16÷20° pentru oţeluri cu puţin carbon şi 8÷12° pentru oţeluri mai dure.

Zona de calibrare 4, este cilindrică şi determină forma şi dimensiunile sârmei trefilate. Înălţimea acestei zone este cuprinsă între 1/2 şi 3/2 din diametrul echivalent al secţiunii transversale.

Zona de degajare 5, având unghiul conului de 40°, se practică numai în cazul tragerii barelor şi sârmelor groase.

Zona de ieşire 6, are acelaşi rol cu zona de intrare şi are unghiul la vârf al conului de 80÷160°.

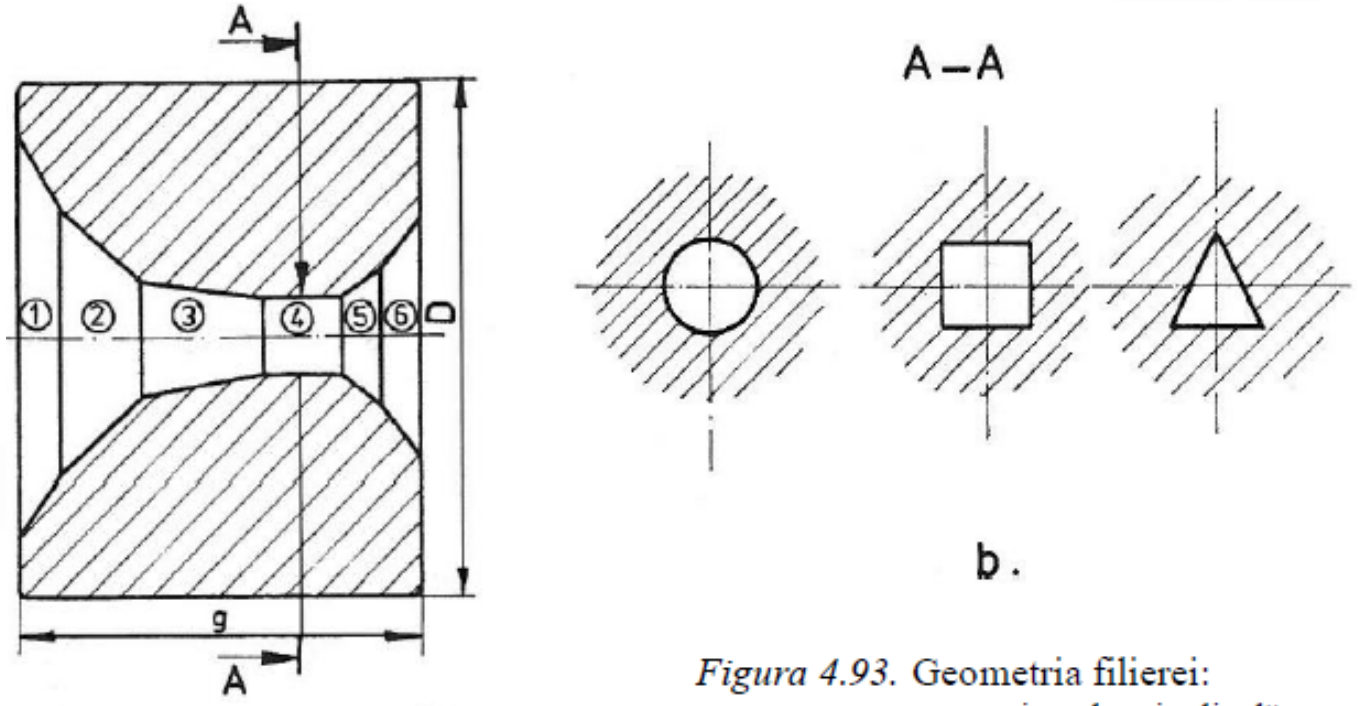


Figura 4.93. Geometria filierei:
a – secţiune longitudinală;
b – secţiune transversală.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

Grosimea unei filiere *g*, este de cel puţin 6 diametre echivalente ale zonei de calibrare. În cazul sârmelor subţiri, grosimea *g* se majorează cu 20%, fără a se putea lua sub 15 mm.

Constructiv, filierele pot fi monolitice sau din mai multe bucăţi, compuse, ultimele fiind şi reglabile.

Filierele se execută din materiale cu o rezistenţă mecanică şi la eroziune ridicate, cu mare capacitate de lustruire. Cele mai uzuale materiale pentru filiere sunt oţelurile carbon sau aliate pentru scule, aliaje dure, diamantul.

Dacă se execută din materiale forjabile, recondiţionarea se face prin decălire şi forjare după care se procedează la prelucrarea orificiului la dimensiunile iniţiale.

Dacă filierele se execută din materiale neforjabile, recondiţionarea nu se poate face decât prin lărgire pentru o dimensiune superioară normalizată.

Lustruirea se face cu pulbere de diamant, carbură de bor, controlul făcându-se prin probe sau cu aparatură specială.

Cum materialul filierei nu poate prelua tensiunile de întindere, filierele se montează prin tensionare în inele de oţel, iar cele din diamant în capsule de alamă.

Filierele de diamant se folosesc numai pentru sârmele subţiri şi foarte subţiri.

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

Prin trefilare se pot obţine astfel sârme din oţel moale cu diametrul până la 0,12 mm, sârme de cupru de 0,03 mm. Din oţel electric de înaltă calitate se pot obţine sârme de 0,03 mm. Sârme de platină cu diametru foarte mic (0,00075) se obţin prin acoperirea înainte de tragere cu un strat de argint, care după trefilare, prin dizolvare în acid sulfuric se îndepărtează.

După compoziţia chimică, sârmele de oţel se clasifică astfel: sârme de oţel carbon obişnuit, cu 0,05÷0,16% C;sârme cu până la 1,4% C, din care se fabrică ace de cusut, sârme pentru arcuri, corzi de pian, arcuri etc.; sârme din oţel aliat (de exemplu, alierea cu cupru conduce la creşterea rezistenţei la curgere şi rupere).

Maşini şi instalaţii de tragere-trefilare. O clasificare generală se face după tipul produsului tras, deosebindu-se:

- maşini pentru tras sârme (trefilare) singulare şi multiple, *Figura 4.94*;
- maşini pentru tras bare şi ţevi, *Figura 4.95*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

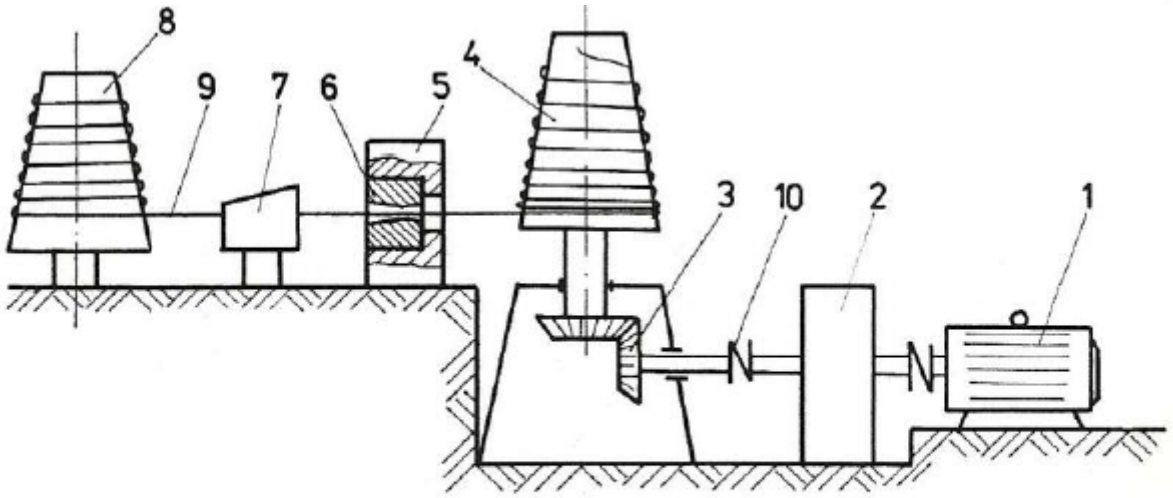


Figura 4.94. Schema unei instalaţii singulare de trefilare:
1 – motor; 2 – reductor; 3 – grup conic; 4 – tobă motoare; 5 – portfilieră; 6 – filieră;
7 – vas de ungere; 8 – tobă de desfăşurare; 9 – semifabricat; 10 – cuplaj.

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

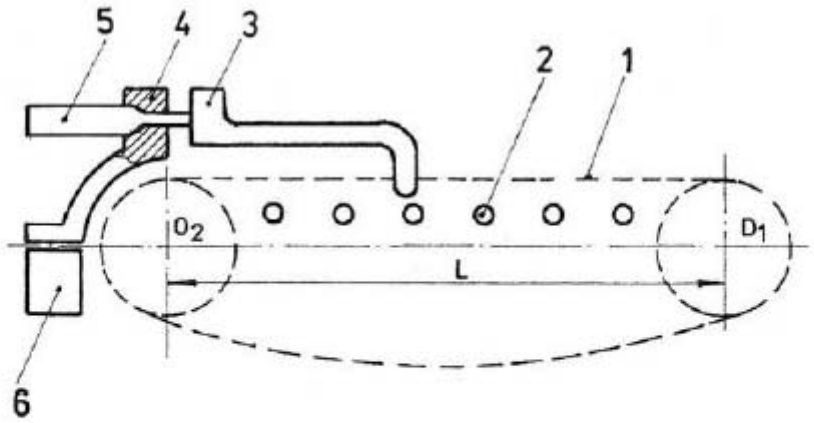


Figura 4.95. Schema unei maşini de tras bare:
1 – lanţ Gall de antrenare; 2 – bare suport; 3 – dispozitiv de prindere;
4 – matriţă; 5 – semifabricat; 6 – suport; O_1 – roată de antrenare în stea;
O_2 – roată antrenată; L – lungimea de tragere.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Utilajul de tragere şi trefilare

Maşinile singulare sunt cele mai simple şi servesc la trefilarea sârmelor groase. Pentru sârme subţiri şi foarte subţiri se folosesc maşini multiple liniare sau circulare. Între două filiere, sârma se înfăşoară pe tobe intermediare de tragere a căror viteză periferică trebuie să fie egală sau puţin mai mare decât viteza de trefilare. La ora actuală această corelare se realizează cu reglare electronică cu calculator de proces.

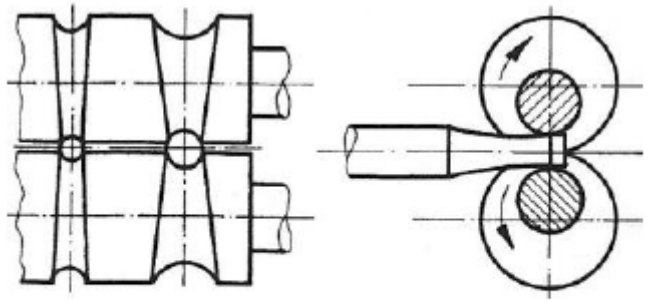


Figura 4.96. Maşină de ascuţit bare şi sârme.

Pentru bare şi ţevi, se folosesc maşini de tras, de regulă cu lanţ Gall, a căror lungime trebuie corelată cu lungimea produsului tras.

Pentru ca bara sau sârma să poată trece prin scule în vederea prinderii în capul de tragere, trebuie să fie ascuţite.

Ascuţirea se poate face pe o maşină de forjat radial sau mai productiv pe un laminor cu calibre cu profil variabil, *Figura 4.96*.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Tragerea ţevilor

Ţevile obţinute prin laminare sau alte procedee sunt adeseori finisate prin tragere la rece. Această finisare asigură toleranţe strânse şi o calitate mai bună a suprafeţei şi oferă posibilitatea obţinerii de ţevi cu dimensiuni şi grosime de perete mai mici decât se pot obţine prin metodele deformării la cald. Tragerea se face pe bancuri de tras rectilinii, *Figura 4.95*. Metodele de tragere a ţevilor se împart în două grupe: fără dorn, simplă reducere, *Figura 4.97*; cu dorn, *Figura 4.98*.

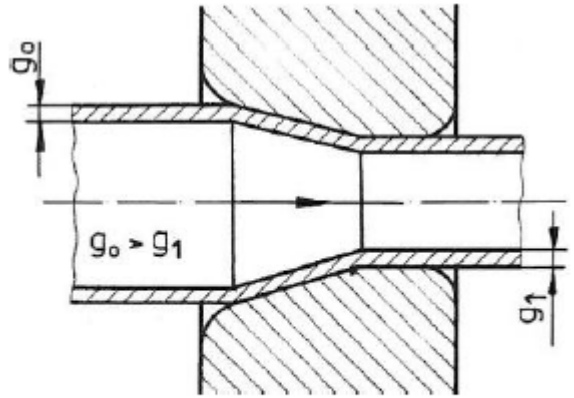


Figura 4.97. Schema tragerii fără dorn.

Aşa cum se vede pe *Figura 4.97*, tragerea fără dorn operează asupra diametrului exterior reducându-l, dar acţionează şi asupra grosimii pereţilor care va creşte sau va scădea în funcţie de regimul de deformare în proces. Metoda se aplică ţevilor de dimensiuni mici şi fără condiţii de calitate impuse suprafeţei interioare a ţevii trase. Tensiunea de tragere în condiţii egale de frecare-ungere este cu 10% mai mare decât tragerea barelor şi sârmelor.

PRELUCRAREA PRIN DEFORMARE PLASTICĂ A MATERIALELOR METALICE

Tragerea materialelor metalice

Tragerea ţevilor

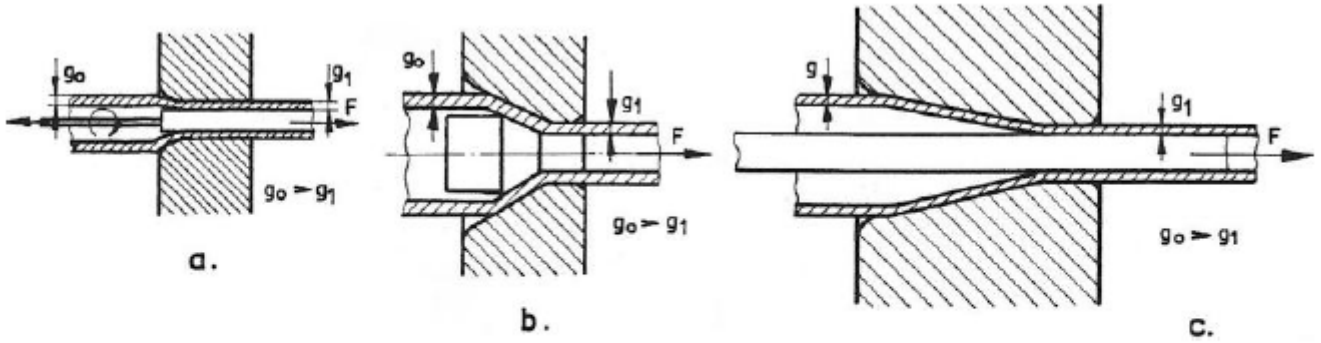
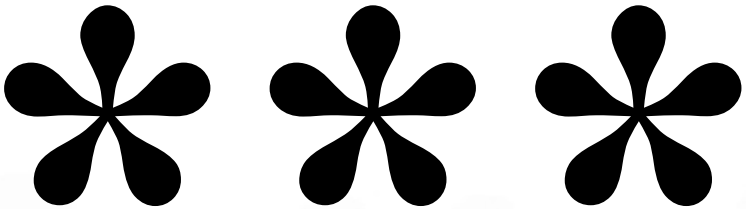


Figura 4.98. Variante de tragere pe dorn:
a – dorn scurt cilindric; b – dorn scurt conic fix; c – dorn lung mobil.

În cazul tragerii pe dorn, ţeava trasă este calibrată şi pe suprafaţa interioară.

Se preferă tragerea pe dorn scurt, mai uşor de manevrat, care pentru uniformizarea uzării se roteşte în proces, *Figura 4.98(a)*. În acest caz, ţevile sunt reduse la diametru, dar şi la grosime de perete.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

- **Sudarea termică 1**

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu arc electric

La sudarea cu arc electric, sursa termică o constituie arcul electric, care arde de regulă, între electrod şi piesă (semifabricat).

În funcţie de material şi numărul de electrozi, ca şi de felul de conectare a electrozilor şi semifabricatului în circuitul electric de alimentare, se deosebesc următoarele **procedee de sudare**:

- ***sudarea cu electrod infuzibil*** (din grafit sau wolfram), *Figura 5.1(a)*, în care *electrodul 1* face *arcul electric 2*, cu *metalul de bază 3*, iar îmbinarea se realizează prin topirea metalului de bază, dar şi cu aportul unui *metal de adaos 4*;

- ***sudarea cu electrod fuzibil*** (metalic), *Figura 5.1(b)*, în care *electrodul 1* face arc direct cu *metalul de bază 3*, arcul topind atât metalul de bază cât şi metalul de adaos (electrodul *1*) formând baia metalică, în care se depun mereu picăturile de metal lichid, provenite din topirea electrodului;

- ***sudarea cu arc independent*** între *electrozii infuzibili 1*, *Figura 5.1(c)*, în care metalul de bază este încălzit şi topit la radiaţia *coloanei arcului* indirect *5*;

- ***sudarea cu arc trifazic***, *Figura 5.1(d)*, în care arcul arde între *electrozii consumabili 1* şi între fiecare electrod şi *metalul de bază 3*. Alimentarea arcului se poate face atât în curent continuu cât şi în curent alternativ.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu arc electric

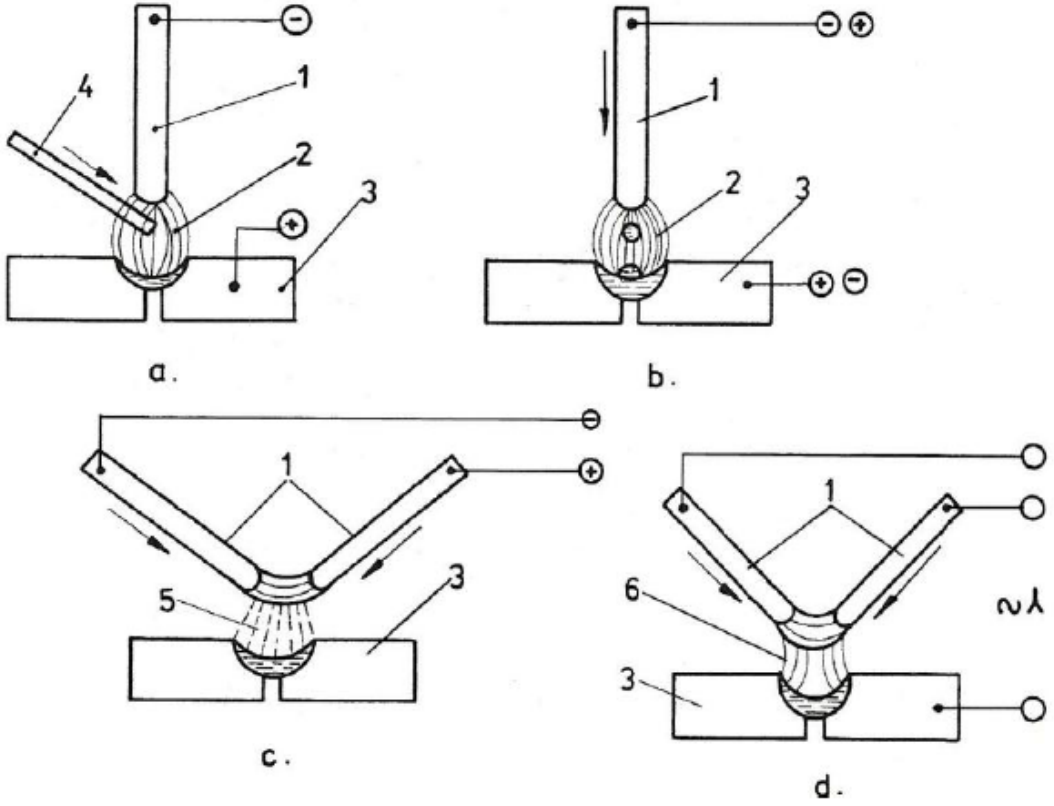


Figura 5.1. Scheme ale sudării cu arc electric:
a – cu electrod infuzibil şi arc direct; b – cu electrod fuzibil şi arc direct;
c – cu electrod infuzibil şi arc indirect; d – cu electrod fuzibil şi arc trifazic.

La folosirea curentului continuu se deosebesc două **polarităţi**: *directă*, atunci când metalul de bază este polul pozitiv şi electrodul consumabil este polul negativ şi *polaritate inversă*, când conexiunile la circuitul de curent continuu se fac invers faţă de polaritatea directă.

Arcul electric, este o descărcare electrică stabilă într-o atmosferă ionizată de gaze şi vapori metalici. Ionizarea atmosferei arcului se face în timpul arderii acestuia, ardere care se desfăşoară în majoritatea cazurilor în trei faze, *Figura 5.2*.

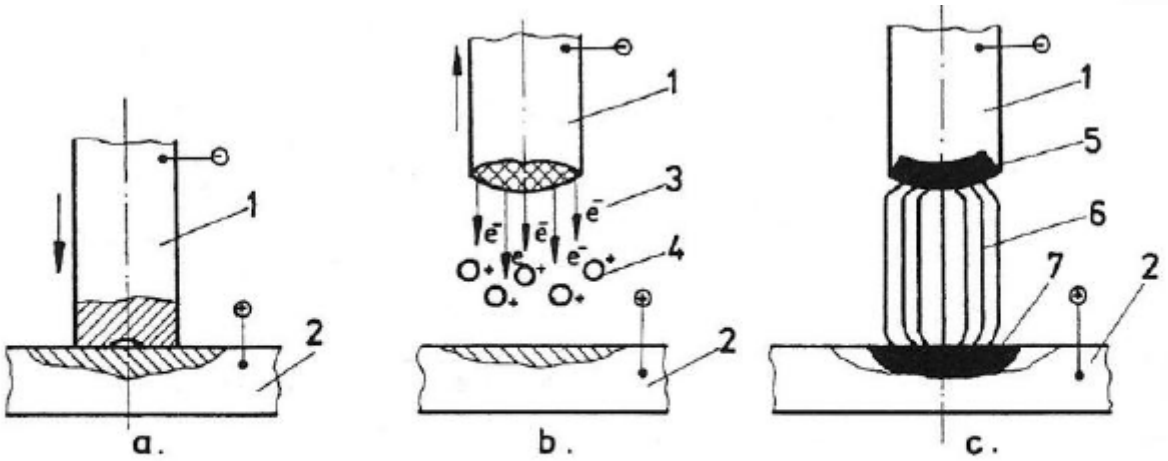


Figura 5.2. Schema formării arcului:
a – scurtcircuitare; b – îndepărtare electrod; c – ardere stabilă arc; 1 – electrod; 2 – metal de bază; 3 – electroni; 4 – ioni pozitivi; 5 – pata catodică; 6 – coloana arcului; 7 – pata anodică.

În prima fază, *Figura 5.2(a)*, se scurtcircuitează electrodul prin contact cu piesa în vederea încălzirii metalului în zona de contact şi se îndepărtează imediat la o distanţă de 3÷6 mm, în general, sub diametrul electrodului. După îndepărtarea electrodului, acesta având capătul încălzit sub acţiunea câmpului electric se produce o termoemisie de electroni, *Figura 5.2(b)*. În drumul lor către anod, electronii se ciocnesc de moleculele de gaz şi vapori de apă şi produce ionizarea acestora.

Ca rezultat, atmosfera dintre electrod şi piesă devine bună conducătoare de electricitate şi prin coloana formată se produce continuu descărcări electrice. Procesul aprinderii arcului se termină prin formarea unei descărcări luminoase constante în coloana arcului, *Figura 5.2(c)*.

Amorsarea arcului se poate face şi prin suprapunerea peste curentul de sudare a unei componente de înaltă frecvenţă, capabilă să asigure ionizarea iniţială necesară aprinderii arcului. Aceasta se realizează cu ajutorul unui oscilator care creează tensiune înaltă şi se recomandă la sudarea cu electrod infuzibil.

Temperatura coloanei arcului depinde de materialul electrodului şi compoziţia gazului din arc, iar temperatura petelor catodică şi anodică ating temperatura de topire a metalului electrozilor şi aceste temperaturi sunt de 6000 K şi respectiv 3000 K, în cazul electrodului de oţel. Ca urmare, pe anod se descarcă o mare cantitate de energie şi deci este de mare importanţă alegerea polarităţii arcului în curent continuu.

Puterea termică a arcului electric, Q [J/s], se poate determina cu relaţia:

$$Q = kI_s U_a \qquad (5.1)$$

în care: k este coeficientul de abatere sinusoidală a curentului şi tensiunii (pentru curent continuu, k=1, iar pentru curent alternativ, k=0,7÷0,97);
I_s – curentul de sudare, în A;
U_a – tensiunea arcului, în V.

Sigur că, nu toată căldura determinată conform relaţiei (5.1) este consumată util, o parte se pierde prin radiaţie în mediul înconjurător şi atunci căldura efectivă q a arcului afectată de randamentul η [J/s], va fi:

$$q = \eta Q \qquad (5.2)$$

Randamentul η depinde de procedeul de sudare, natura şi tipul materialelor de sudat. Astfel: la sudarea automată sub strat de flux, $\eta = 0{,}9$; la sudarea sub baie de zgură, $\eta = 0{,}7$; la sudarea manuală cu electrod învelit, $\eta = 0{,}8$; la sudarea în atmosferă de gaze protectoare, $\eta = 0{,}6$.

Pentru aprecierea consumului de energie termică în vederea formării unităţii de lungime a cordonului sau unităţii de suprafaţă a îmbinării la o singură trecere, se utilizează indicatorul energiei liniare specifice, ca rapoartele:

$$\frac{q}{v_s} \text{ şi respectiv } \frac{q}{v_s S},$$

în care: q este cantitatea efectivă de căldură, după relaţia (5.2);
v_s – viteza de sudare, în cm/s;
S – grosimea semifabricatului, în cm.

Din punct de vedere electric, arcul se apreciază prin caracteristica sa statică, exprimată prin diferenţa dintre tensiune şi curent, în condiţiile de ardere stabilă a acestuia, *Figura 5.3*.

Caracteristica pe *zona I*, coborâtoare, este puţin utilizată, este instabilă şi necesită oscilator în circuit. Caracteristica în *zona II* şi *III* este mai des utilizată. De asemenea, în *zonele I* şi *II*, transportul de metal de la electrod la piesă se face prin picături mari, iar în *zona III* cu picături fine sub formă de jet.

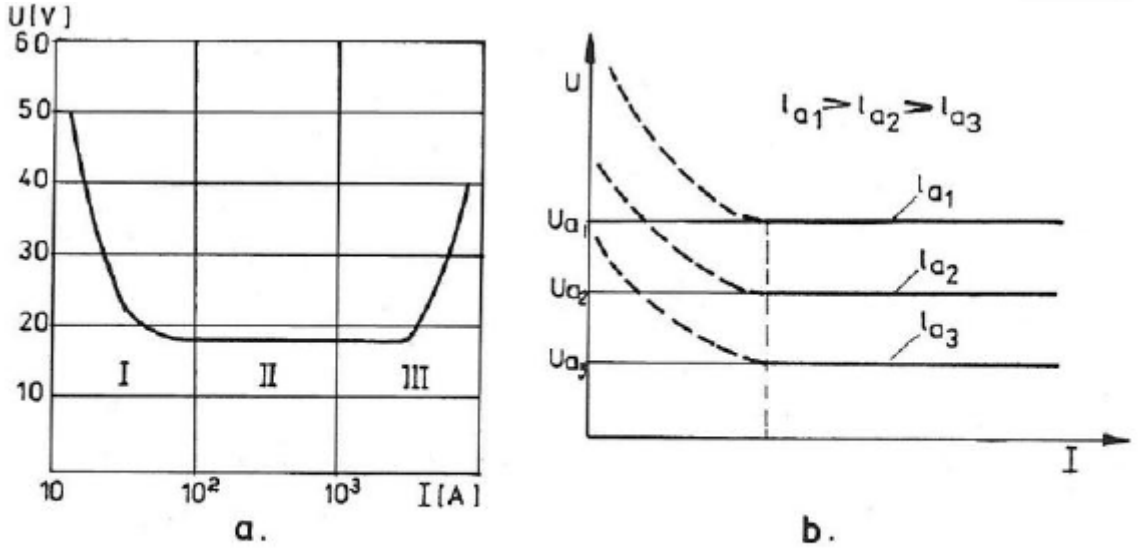


Figura 5.3. Schemele caracteristicii statice a arcului:
a – caracteristica U-I; b – dependenţa tensiunii arcului de lungimea acestuia.

Arderea stabilă a arcului în *zona rigidă II*, reclamă o anumită tensiune, U_{arc}, care se poate aprecia cu relaţia:

$$U_{arc} = \alpha + \beta \cdot l_{arc} \qquad (5.3)$$

în care: α este căderea de tensiune pe electrod (pentru oţel $\alpha = 10$ V);
β – căderea de tensiune pe coloana arcului (pentru oţel $\beta = 2$ V/mm);
l_{arc} – lungimea arcului (în general, $l_{arc} = 0 \div 8$ mm).

Prin urmare, arderea stabilă necesită o anumită tensiune a arcului, aşa cum se vede în *Figura 5.3(b)*, când odată cu scăderea lungimii arcului, scade şi mărimea tensiunii de menţinere a arcului. În majoritatea procedeelor de sudare se foloseşte caracteristica rigidă a arcului.

Sudarea termică

Surse de curent pentru sudare

Sursele de curent pentru sudare trebuie să posede o caracteristică externă specială. Prin caracteristică externă se înţelege dependenţa tensiunii la bornele de ieşire de curentul din circuitul electric. Această caracteristică, *Figura 5.4*, poate fi *coborâtoare 1*, *rigidă 2* şi *crescătoare* sau ridicătoare *3*.

Alegerea sursei de curent se face în funcţie de caracteristica arcului, proprie procedeului de sudare utilizat. Pentru sudare se utilizează surse mai ales care au caracteristica externă coborâtoare (de exemplu, la sudarea manuală, automată sub strat de flux, în atmosferă de gaze protectoare cu electrod infuzibil).

Regimul electric de ardere stabilă a arcului se determină în punctul de intersecţie dintre caracteristica externă a maşinii şi caracteristica statică a arcului, *Figura 5.4(b)*, punctul *C*. Punctul *A* corespunde mersului în gol (60÷80 V), punctul *B* este de amorsare (aprindere) a arcului, iar punctul *D* este punctul de scurtcircuit.

Caracteristica externă coborâtoare este foarte importantă, întrucât asigură robusteţe maşinii de curent, care trebuie să asigure trecerea rapidă din gol, prin scurtcircuit, aprindere şi ardere stabilă a arcului, care să-şi menţină constantă puterea de topire, având în vedere că micile oscilaţii ale tensiunii şi lungimii arcului la sudarea manuală nu conduc la variaţii sensibile ale curentului de sudare şi de asemenea, trebuie să limiteze astfel curentul de scurtcircuit încât să nu provoace supraîncălzirea conductorilor de legătură sau maşinii de curent. Din acest punct de vedere o caracteristică externă ideală a sursei de curent ar tebui să arate ca cea notată cu *5* în *Figura 5.4(b)*.

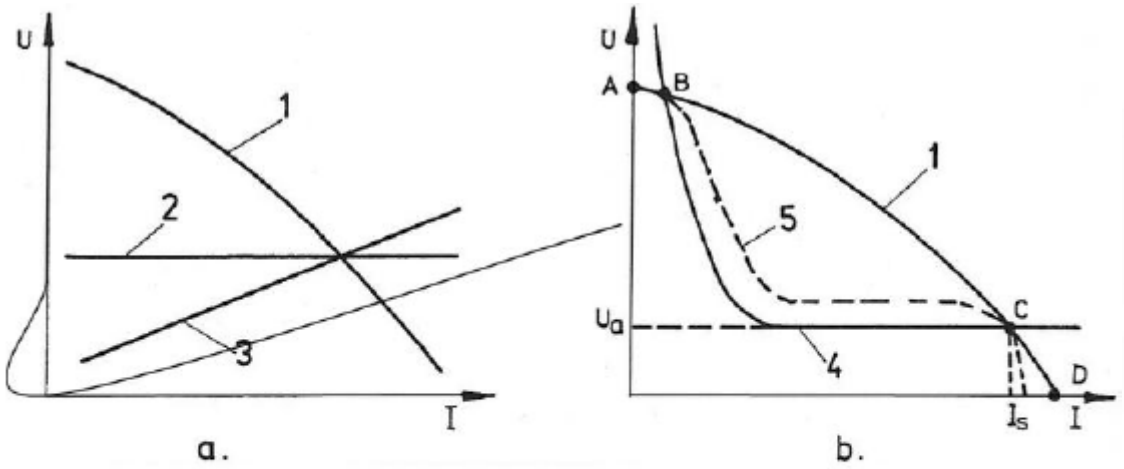


Figura 5.4. Caracteristici externe ale sursei (a) şi corelarea dintre caracteristica sursei şi a arcului:
1 – caracteristică externă coborâtoare a sursei; 2 – caracteristică rigidă; 3 – caracteristică ridicătoare; 4 – caracteristică statică arc.

După felul curentului electric se folosesc următoarele tipuri de surse de curent: transformatoarele de sudură în curent alternativ; redresoarele şi generatoarele în curent continuu.

Mai avantajoase sunt maşinile în curent continuu datorită următoarelor particularităţi: asigură arderea stabilă a arcului; se poate suda în orice poziţie spaţială; asigură sudare în ambele polarităţi; asigură sudarea materialelor greu fuzibile.

Maşinile în curent continuu sunt mai scumpe decât utilajele în curent alternativ.

Transformatoarele în curent alternativ sunt uşor de exploatat, au o bună durabilitate şi un randament mai ridicat decât al maşinilor de curent continuu, singurul dezavantaj fiind al arderii instabile a arcului, datorită faptului că după fiecare 0,01 secunde curentul şi tensiunea trec prin zero.

Transformatoarele de sudură, se construiesc în două moduri principale, fie prin posibilitate de variaţie a întreferului, fie prin deplasarea înfăşurării primare. A doua variantă se vede schematic pe *Figura 5.5*. Astfel, datorită fluxurilor Φ_1 şi Φ_2 din cele două înfăşurări (primară şi secundară) la funcţionarea transformatorului cu fluxul de închidere Φ_0, se creează curenţi de inducţie inverşi care cresc pe măsură ce creşte curentul de sudare şi se reuşeşte astfel să se menţină caracteristica externă coborâtoare a transformatorului, *Figura 5.5(c)*.

Prin variaţia *distanţei L* dintre bobine, se reuşeşte să se regleze curentul de sudare. Prin apropierea bobinelor, parţial *fluxurile* Φ_1 şi Φ_2 se influenţează reciproc fiind de sens contrar şi se micşorează astfel curentul de inducţie de sens invers şi prin urmare curentul de sudare creşte.

Pentru sudarea cu arc trifazat se folosesc transformatoare speciale cu caracteristică externă coborâtoare, iar pentru sudarea sub zgură, transformatoare mono şi trifazate cu caracteristică rigidă.

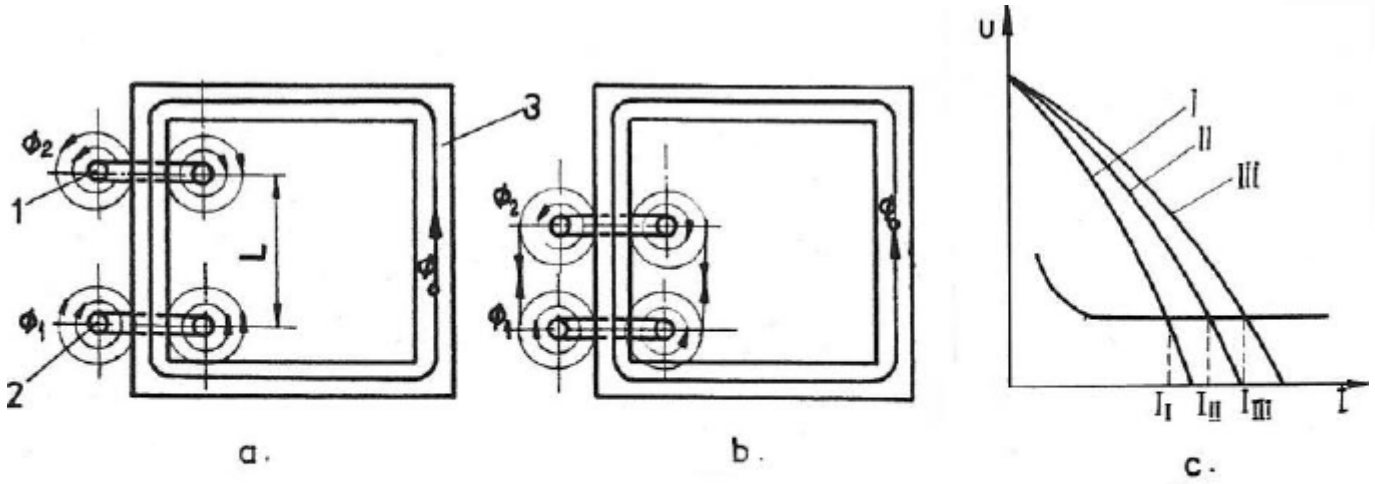


Figura 5.5. Schema unui transformator de sudură:
a – reglare pentru curent mic; b – reglare pentru curent mare: c – caracteristica externă coborâtoare.

Redresoarele, sau grupul redresor, alcătuit dintr-un transformator şi o baterie de elemente redresoare de curent, din plăci de siliciu au o caracteristică externă uşor coborâtoare sau rigidă şi se folosesc pentru sudarea cu electrod fuzibil în mediu de gaze protectoare.

Redresoarele au un randament ridicat, funcţionează fără zgomot, asigură ardere stabilă arcului, în mod deosebit la curenţi mici.

Redresoarele se prevăd cu sistem de răcire puternică deoarece plăcile semiconductoare se încălzesc în funcţionare, de unde se prevăd şi ventilatoarele necesare.

Convertizorul de sudură, este alcătuit dintr-un motor de curent alternativ şi un generator de curent continuu, generatoarele putând fi de diverse tipuri. Faţă de redresoare, convertizoarele au un randament mai mic şi sunt mai greu de întreţinut.

Convertizorul de sudare CS-350. Constructiv, este format dintr-un motor electric asincron trifazat care acţionează un generator de curent continuu cu rotorul (indusul) în scurtcircuit, montat pe acelaşi ax cu rotorul motorului, deci de tipul cu excitaţie separată şi serie antagonistă, având 4 poli principali şi 4 poli auxiliari cu poziţie alternantă. Schema electrică a generatorului se prezintă în *Figura 5.6(a)*, iar panoul de comandă a convertizorului în *Figura 5.6(b)*.

Polii principali ai generatorului au două tipuri de înfăşurări:

- înfăşurarea de excitaţie separată (de magnetizare), având un număr mare de spire w_e, parcursă de curentul continuu I_e. Acesta se culege de la reţea printr-un redresor şi este reglabil printr-un reostat R_e. El exercită un flux magnetic Φ_e;

• înfăşurarea de excitaţie în serie cu indusul (de demagnetizare), având un număr mare de spire w_s, străbătute de curentul de sudare I_s. Numărul de spire a acestei înfăşurări este reglabil în 4 trepte şi creează un flux magnetic variabil Φ_s (de demagnetizare), antagonist cu Φ_e.

În sarcină, fluxurile Φ_e şi Φ_s se scad, realizându-se o gamă largă de valori ale curenţilor de sudare, în fiecare din cele 4 trepte de reglare.

Treptele de reglare ale convertizorului CS-350 sunt prezentate în *Figura 5.6(c)* care reprezintă caracteristicile externe ale sursei. În figură se prezintă câte două curbe limită pentru fiecare domeniu: una pentru excitaţia separată maximă şi una pentru excitaţia minimă.

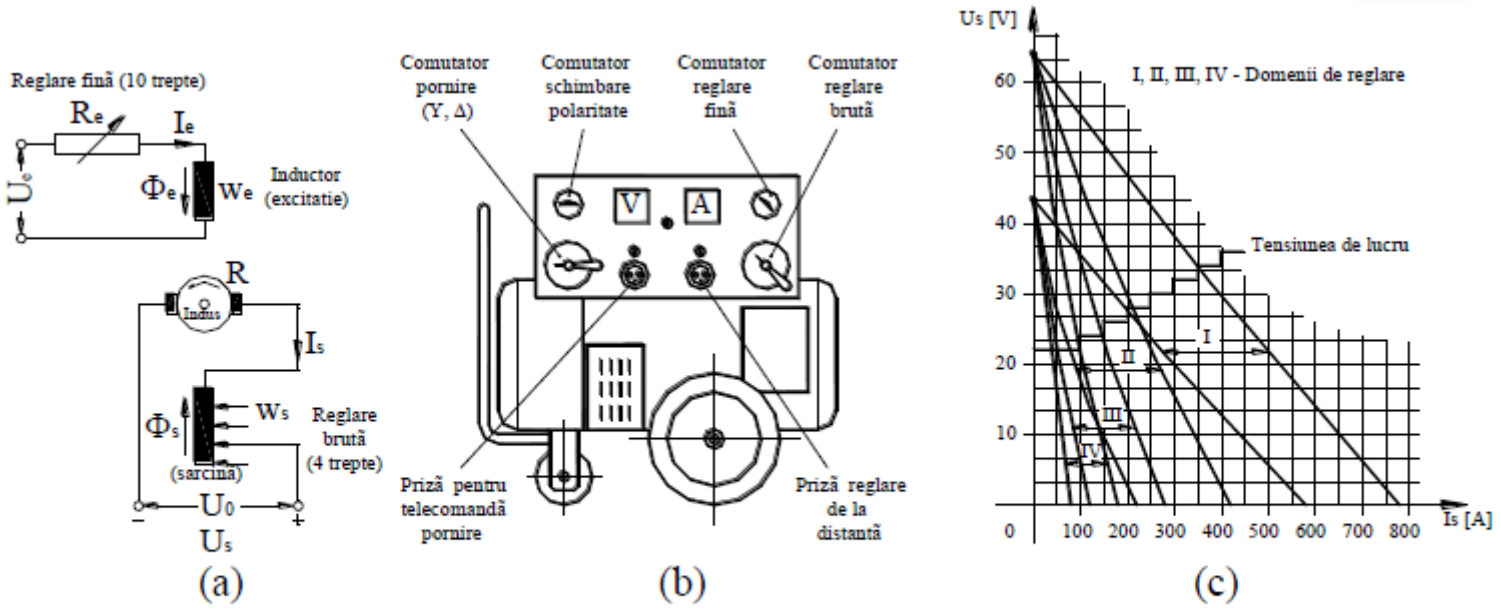


Figura 5.6. Convertizorul de sudare CS-350.
(a) – schema electrică; (b) – panoul de comandă; (c) – caracteristicile externe.

Principalele caracteristici tehnice ale convertizorului CS-350 sunt prezentate în *Tabelul 5.1*.

Tabelul 5.1. Caracteristici tehnice ale convertizorului CS-350.

Nr. crt.	Caracteristici tehnice	Valori
1.	Domeniul de reglare al regimului de sudare	50 A / 22 V – 370 A / 34 V
2.	Numărul treptelor de reglare brută	4
3.	Numărul treptelor de reglare fină	10
4.	Tensiunea de mers în gol	65 V
5.	Puterea motorului de acţionare	14 kW
6.	Tensiunea de alimentare	paralel: 220 V / 380 V serie: 440 V / 500 V
7.	Frecvenţa curentului de alimentare	50 Hz
8.	Turaţia	1450 rot/min
9.	Randamentul total	55 %
10.	Dimensiuni de gabarit	870×536×887 mm
11.	Masa totală	420 kg

Agregatele de sudare, sunt alcătuite din motor cu ardere internă şi generator de sudare în curent continuu. Sunt autonome în deplasare şi se folosesc pentru sudare manuală în condiţii de şantier şi reparaţii în locuri fără posibilitate de alimentare cu reţea electrică de forţă.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea manuală cu arc electric

La sudarea manuală cu arc electric, sudarea se realizează cu electrozi, care sunt avansaţi manual în arc pe măsură ce se consumă şi arcul se deplasează în acelaşi timp de-a lungul semifabricatului. În procesul de sudare cu electrod învelit arcul arde între vergeaua metalică şi metalul de bază. Elementele arcului şi procesului de sudare se prezintă în *Figura 5.7*.

Realizarea unei suduri prin topire cu arc electric presupune parcurgerea următoarelor faze:

- formarea băii metalice, prin topirea locală a metalului de bază şi de adaos în zona rostului;
- solidificarea băii metalice cu formarea cusăturii sudate.

Sursa termică necesară pentru formarea băii metalice este arcul electric, format între electrod şi piesa de sudat prin conectarea acestora la o sursă de curent de sudare. Temperatura arcului electric (5000 K în coloana centrală) asigură topirea vârfului electrodului şi transportul metalului topit spre piesele de sudat.

Sudarea termică

Sudarea manuală cu arc electric

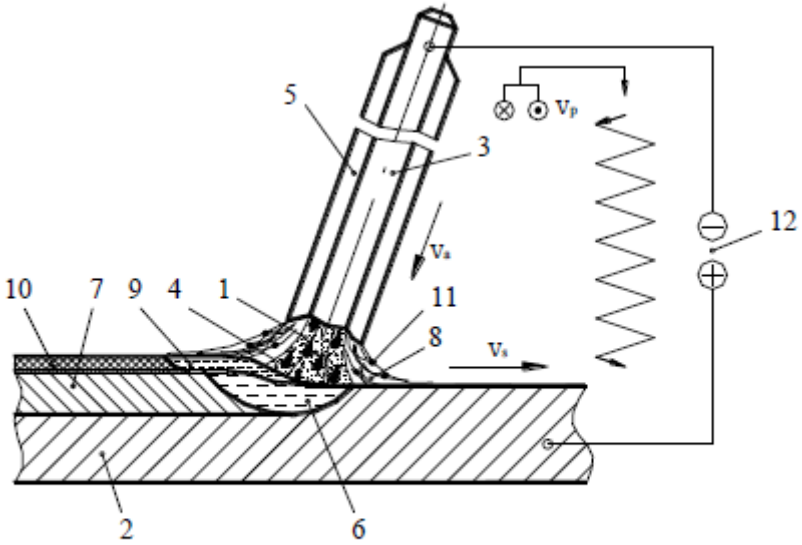


Figura 5.7. Schema de principiu a sudării cu arc electric descoperit.

Fenomenul de trecere a metalului prin arcul electric, întotdeauna în *sensul electrod - piesă*, poartă denumirea de *transfer de metal prin arc* şi este reprezentat în *Figura 5.7.*

Arcul electric *1* topeşte metalul de bază *2*, metalul de adaos (electrodul) *3* formându-se picăturile *4* transferate prin coloana arcului şi învelişul electrodului *5*. Se formează astfel o baie metalică lichidă *6* din a cărei solidificare rezultă sudura *7*. O parte din învelişul electrodului arde formându-se învelişul de gaze protectoare *8*, iar cealaltă parte se topeşte rezultând o baie de zgură lichidă *9* care prin solidificare dă stratul de zgură solidă *10*. Prin stabilirea corectă a parametrilor regimului electric de sudare, pierderile prin stropi de metal *11* sunt minime. Sursa de curent *12* poate debita curent continuu sau alternativ. În cazul utilizării curentului continuu este importantă polaritatea utilizată. Situaţia în care piesa este legată la anod, iar electrodul la catod se numeşte *polaritate directă*, iar situaţia contrară se numeşte *polaritate inversă*.

Pentru realizarea cusăturii sudate, electrodului i se imprimă, mai multe mişcări:

- mişcarea de deplasare în lungul cusăturii sudate cu viteza v_s ;
- mişcarea de avansare cu viteza v_a a electrodului, pe măsura consumării acestuia, în scopul menţinerii constante a lungimii arcului electric;
- mişcarea de deplasare transversală (pendulare), v_p, în scopul asigurării lăţimii cusăturii sudate şi depunerii uniforme a metalului.

Calitatea îmbinării sudate depinde în mare măsură de structura metalului de bază şi a metalului de adaos. Aceste materiale, în urma procesului de sudare, dau un tot unitar, rezistent, dacă au fost bine alese şi s-au creat condiţiile formării unui aliaj corespunzător.

În baia metalică supraîncălzită se petrec şi o serie de procese metalurgice, cum sunt, evaporarea, oxidarea sau arderea unor elemente ca Si, Mn, C etc., dar şi introducerea unor elemente, nu tocmai dorite cum sunt O, N şi H din aerul înconjurător. Ca urmare, mai ales a absorbţiei de oxigen, metalul cordonului poate să difere chimic de metalul de bază şi deci şi proprietăţile fizico-mecanice vor fi altele şi de aici necesitatea ca în învelişul electrodului să fie introduse elemente de aliere şi dezoxidanţi corespunzători.

Cristalizarea băii metalice începe de la suprafaţa metalului de bază către axa sudurii, *Figura 5.8*.

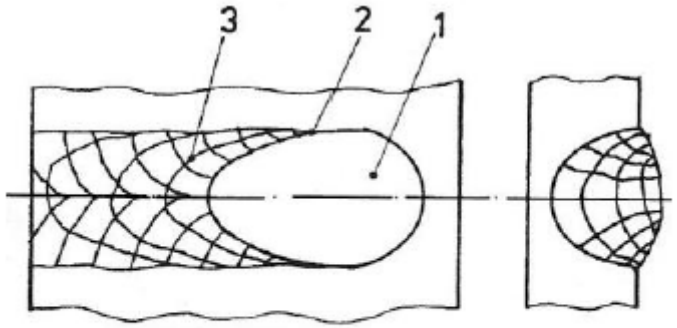


Figura 5.8. Structura cusăturii de sudură:
1 – baia metalică; 2 – izoterma cristalizării;
3 – cristaliţi în solzi.

Cum baia metalică se deplasează de-a lungul cusăturii, cristaliţii se răsucesc după baie în direcţia de sudare. În urma acestui fenomen, lichidul interdendritic se dispune la marginea grăunţilor şi se formează astfel eutectici uşor fuzibili şi incluziuni nemetalice. Aceasta poate fi cauza fragilităţii metalului depus şi chiar a fisurării la cald a sudurilor.

Electrozii de sudură, ca material de adaos, trebuie să îndeplinească particularităţile:

- să aibă o compoziţie chimică identică sau comparabilă cu a metalului de bază;
- să dea suduri de continuitate şi cu proprietăţi fizico-mecanice apropiate de a metalului de bază (tenacitate bună);
- prin solidificare să dea structuri omogene, cu granulaţie bună şi fără elemente fragile;
- să corespundă ca şi metalul de bază factorilor de mediu, presiune, temperatură;
- să fie sudabil, să se topească uşor şi să se manevreze uşor în procesul de sudare.

În categoria materialului de adaos, în afară de electrodul metalic (învelit sau neînvelit) mai intră şi o serie de fluxuri şi învelişuri. Gazele protectoare nu sunt considerate materiale de adaos.

O **clasificare a electrozilor fuzibili** ca metal de adaos se face în două categorii:

- neînveliţi, care sunt sârme, vergele, bare, benzi, unele cu inimă plină, altele cu inimă goală;
- înveliţi, care sunt pentru oţeluri la suduri de îmbinare, pentru fonte, pentru neferoase.

Sârmele de sudură, vergele sau în colaci cu diametrul de 0,5÷12,5 mm, se utilizează la sudarea cu flacără şi electric în gaze protectoare, sub flux şi în baie de zgură. Sârmele de sudură sunt cuprinse în STAS 1126-87, unde simbolizarea se face astfel: după simbolul mărcii se trece şi diametrul, iar în cazul livrării sub formă de vergele se trece şi lungimea acesteia, de exemplu, S12 Mn2SiCr $\phi 4 \times 450$ – STAS 1126-87, ceea ce înseamnă sârmă de sudură cu maximum 0,12% C, 2% Mn, circa 1% Si, circa 1% Cr, livrată în vergele cu diametrul de 4 mm şi lungime de 450 mm.

În cazul sudării manuale, materialul de adaos este constituit din *electrozi înveliţi*, *Figura 5.9*, care sunt vergele metalice *1* de diametre ($\phi 2$; $\phi 2{,}5$; $\phi 3{,}25$; $\phi 4$; $\phi 5$ şi $\phi 6$ mm) şi lungimi (450 mm, iar cei de $\phi 2$ şi $\phi 2{,}5$ se fabrică şi cu lungimi de 300 sau 350 mm) standardizate, acoperiţi cu un înveliş fuzibil *2*, mineral sau organic, care îndeplineşte următoarele funcţii:

• *funcţia ionizatoare* – arderea stabilă a arcului electric. Se realizează prin introducerea unor substanţe care măresc stabilitatea funcţionării arcului electric prin intensificarea procesului de ionizare a mediului dintre electrod şi piesă. Aceste substanţe sunt pe bază de Ca, Na, K, Ba;

• *funcţia moderatoare* – forma-rea unei cruste de zgură deasupra sudurii. Aceasta are rolul de a reduce viteza de răcire a cusăturii sudate, de a creşte plasticitatea sudurii, de a împiedica acţiunea gazelor din atmosferă asupra sudurii. Principalii compuşi care conferă aceste proprietăţi sunt: silicea, caolinul, mica, talcul, ilmenitul, marmura, magnezita;

• *funcţia protectoare* – formarea unui mediu gazos protector pentru baia de metal topit. Această funcţie este îndeplinită de arderea în arcul electric a elementelor ca: celuloza, amidonul, rumeguşul, dextrina, marmura, creta, dolomita;

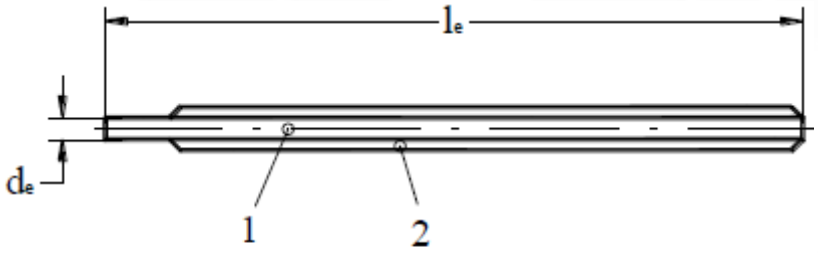


Figura 5.9. Electrod învelit.
l_e – lungimea electrodului;
d_e – diametrul electrodului.

• *funcţia de aliere*. Se realizează prin introducerea unor elemente metalice (feroaliaje) care absorb oxigenul (dezoxidante) şi produc îmbogăţirea cordonului cu anumite elemente (Mn, Si, Fe etc.);

• *funcţia de curăţire*. Realizează reducerea conţinutului de sulf şi fosfor la anumite tipuri de învelişuri, prin introducerea unor elemente mai avide faţă de acestea decât de fier;

- *funcţia de sprijinire*. Constă în întărirea rapidă a zgurii la executarea sudurilor pe plafon.

Diversitatea mare de electrozi înveliţi a necesitat o împărţire a acestora, în funcţie de destinaţia lor principală, în 9 grupe:

I electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor nealiate şi slab aliate;
II electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor slab aliate de înaltă rezistenţă şi a oţelurilor utilizate la temperaturi scăzute;
III electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor termorezistente;
IV electrozi înveliţi pentru sudarea oţelurilor inoxidabile şi refractare;
V electrozi înveliţi pentru sudarea fontei;
VI electrozi înveliţi pentru sudarea aluminiului şi a aliajelor sale;
VII electrozi înveliţi pentru sudarea cuprului şi a aliajelor sale;
VIII electrozi înveliţi pentru încărcarea prin sudare;
IX electrozi înveliţi pentru sudări specializate (sub apă).

Fiecare grupă cuprinde un anumit număr de mărci de electrozi, fiecare marcă fiind individualizată printr-o fişă tehnică în care se prezintă:

- simbolizarea sumară (denumirea comercială);
- simbolizarea completă (după standarde naţionale şi internaţionale);
- caracterizare generală;
- caracteristicile mecanice, chimice, tehnologice;
- domeniile de utilizare;
- indicaţii privind regimul electric;
- modul de livrare.

Simbolizarea completă a electrozilor înveliţi, de exemplu pentru electrozii din grupa I (20 mărci), se face conform STAS 1125/2-81, precizându-se, în principal, următoarele elemente:

- *simbolul general*: **E**;
- *rezistenţa la rupere la tracţiune*, $\mathbf{R_m}$, în daN/mm^2;
- *clasa de calitate a oţelului*. Clasele de calitate se stabilesc pe criteriul garanţiilor de compoziţie chimică şi tenacitate. Astfel, produsele din clasele de calitate **1** şi **2** se realizează, de obicei, din oţel necalmat în cazul mărcilor de oţel de rezistenţă joasă şi din oţel calmat în cazul mărcilor de oţel de rezistenţă medie. Pentru produsele din clasele de calitate **3** şi **4**, în vederea creşterii gradului de finisare a structurii, se poate practica suplimentar adaosul de aluminiu şi controlul temperaturii de sfârşit de laminare. Produsele din clasele **5**, **6** şi **7** se realizează din oţeluri cu granulaţie fină;
- *caracterul învelişului*, care se simbolizează conform *Tabelului 5.2*;

Tabelul 5.2. Caracterul chimic al învelişului electrozilor.

Tipul învelişului		Conţinut
Denumire	Simbol	
Acid	**A**	SiO_2, silicaţi, oxizi de fier şi mangan.
Acid (cu grosime mare)	**AR**	
Bazic	**B**	Carbonaţi de calciu şi fluorină.
Celulozic	**C**	Substanţe organice combustibile.
Oxidant	**O**	Oxizi de fier sau de mangan.
Rutilic	**R**	Silicaţi, carbonaţi şi feromangan.
Rutilic (cu grosime mare)	**RR**	

- *randamentul efectiv* se specifică numai pentru electrozi de mare randament;
- *poziţia de sudare* se simbolizează astfel:

1 – toate poziţiile;
2 – toate poziţiile exceptând poziţia verticală descendent;
3 – poziţia orizontală, orizontală în jgheab şi orizontală pe perete vertical;
4 – orizontală şi orizontală în jgheab;
5 – orizontală, orizontală în jgheab, orizontală pe perete vertical, verticală descendent;

- *caracterul curentului* de sudare se simbolizează conform *Tabelului 5.3*:

Tabelul 5.3. Caracterul curentului de sudare.

Simbol	Curent continuu Electrodul racordat la polul:	Curent alternativ Tensiunea nominală de mers în gol [V]:
0	+	neimpusă
1	+ sau −	50
2	−	50
3	+	50
4	+ sau −	70
5	−	70
6	+	70
7	+ sau −	90
8	−	90
9	+	90

- *caracteristicile tehnice speciale* se simbolizează prin următoarele litere:
  H – electrozi cu conţinut redus de hidrogen;
  P – electrozi cu pătrundere adâncă;
  Fe – electrozi care conţin pulbere de fier, minimum 15%.

Exemple de simbolizare, pentru câteva mărci de electrozi din grupa I se prezintă în *Tabelul 5.4*.

Tabelul 5.4. Exemple de simbolizare a electrozilor

Simbolizare sumară (denumire comercială)	Simbolizare completă (după standarde)	Utilizare	Tipul curentului
E 44T	E 43.2.R.2.2	OL 37.1; OL 37.2; OL 44.2 – STAS 500/2-80; OLT 35 – STAS 8183-80; OLC 10; OLC 15 – STAS 880-88.	cc + ca
SUPERTIT FIN	E 43.2.RR.2.2	OL 37.2; OL 37.3; OL 44.2 – STAS 500/2-80; OLT 35 – STAS 8183-80.	cc + ca
SUPERTIT	E 43.3.RR.2.2	OL 44.2; OL 44.3 – STAS 500/2-80; OLT 35; OLT 45 – STAS 8183-80.	cc + ca
UNIBAZ	E 51.3.B.2.3.H	OL 50; OL 52.2 – STAS 500/2-80; OT 400.1; OT 400.2; OT 400.3 – STAS 600-82; OT 450.1; OT 450.2; OT 450.3 – STAS 600-82.	cc
SUPERBAZ	E 51.5.B.120.2.0.H	OL 44.4; OL 52.2; OL 52.4 – STAS 500/2-80; OT 450.1; OT 450.2; OT 450.3 – STAS 600-82.	cc

Diametrul electrodului, d_e, se alege în funcţie de grosimea, în mm, a pieselor de sudat s utilizând relaţia

$$d_e = 1{,}5 \cdot \sqrt{s} \quad [mm] \tag{5.4}$$

şi respectând condiţia

$$d_e \leq s\,, \tag{5.5}$$

ceea ce implică limitarea inferioară a grosimii pieselor la sudarea cu electrozi înveliţi.

Valoarea obţinută din calcul pentru d_e cu ajutorul relaţiei (5.4), în condiţia (5.5), se aproximează la valoarea cea mai apropiată dintre valorile standardizate pentru diametrul sârmei electrodului din şirul: 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6 mm. Se obţine astfel $d_{e_{STAS}}$ cu care se realizează sudarea.

Pentru table groase ($s > 10\ mm$), sudarea se execută în mai multe treceri. Primul strat se sudează cu electrozi cu diametrul imediat inferior lui $d_{e_{STAS}}$ calculat (din şirul de diametre standardizate), iar următoarele straturi se sudează cu electrozi cu $d_{e_{STAS}}$ determinat.

În procesele de sudare cu arc electric se mai folosesc şi *fluxurile*. Acestea sunt materiale granulare care contribuie cu elemente de aliere şi dezoxidante la formarea sudurii, la eliminarea gazelor, micşorarea vitezei de răcire a băii metalice, la stabilitatea arcului, adică joacă aceleaşi roluri ca şi învelişul de electrod. De aici, ca şi învelişurile de electrod pot fi acide, bazice sau pasive, iar din acest punct de vedere trebuie cunoscut gradul de bazicitate:

$$B = \frac{CaO + MgO + MnO}{SiO_2 + FeO + TiO_2}. \qquad (5.6)$$

Dacă $B<1$ sunt acide, cu $B>1$ bazice şi cu $B=1$ neutre.

Ca stare de livrare, se deosebesc fluxuri topite şi granulate şi fluxuri ceramice, amestec mecanic a substanţelor componente pulverulente.

Regimul sudării manuale cu arc electric. Tehnologia sudării. Principalul parametru al regimului de sudare este *intensitatea curentului* I_s, care se alege în funcţie de natura metalului electrodului şi diametrul acestuia:

$$I_s = Kd\,, \qquad (5.7)$$

în care: d este diametrul electrodului, în mm;
K – coeficient experimental, în A/mm, care se alege 40÷60 pentru electrozii din oţel cu puţin carbon şi 35÷40 pentru electrozii din oţel bogat aliat.

Dimensiunile cusăturii de sudură depind de parametrii regimului de sudare, respectiv I_s, U_{arc}, v_s, *Figura 5.10*, astfel:

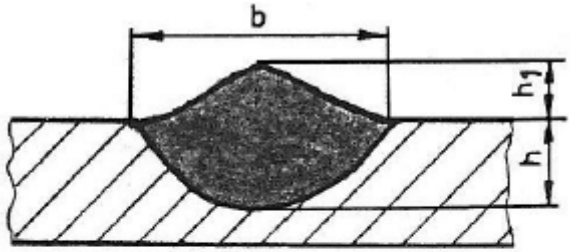


Figura 5.10. Dimensiunile principale ale sudurii:
b – lăţimea;
h_1 – supraînălţarea;
h – pătrunderea.

- lăţimea cusăturii *b* creşte cu creşterea tensiunii, rămâne practic constantă la creşterea curentului şi scade mult la creşterea vitezei de sudare;
- adâncimea de pătrundere *h* şi supraînălţarea h_1, cresc cu intensitatea curentului şi scad cu tensiunea şi viteza de sudare.

Pregătirea pieselor pentru sudare, are drept scop înlăturarea impurităţilor (oxizi, vopsea, ulei, zgură etc.) şi asigurarea spaţiului numit rostul sudurii în care se formează cusătura de sudură din metalul de adaos şi de bază topite şi solidificate. În acest scop, marginile pieselor se prelucrează astfel: fără pregătire pentru $S < 3$mm; cu pregătire în *Y* sau *V* la $S = 3 \div 20$ mm, în *U* pentru S = 40÷80 mm, în *dublu U* pentru $S > 80$ mm etc. pentru sudurile cap la cap, la care trebuie adăugate pregătirile pentru suduri de colţ şi prin suprapunere.

Executarea sudurii. Postul de sudare se consideră pregătit când a fost reglată sursa la regimul dorit şi conectată prin cabluri şi cleme de legătură la piesă şi prin dispozitivul port-electrod la materialul de adaos. După amorsare, electrodul se ţine înclinat la 15÷30° faţă de normală în direcţia sensului de sudare, pentru a evita formarea picăturilor reci în faţa arcului.

Sudarea termică

Sudarea manuală cu arc electric

Prin unghiul de înclinare se poate acţiona asupra pătrunderii sudurii şi vitezei de sudare. Arcul se menţine scurt la o lungime aproximativ egală cu diametrul electrodului. În procesul de sudare, operatorul sudor execută apoi o serie de mişcări:

- de avans a electrodului în arc pe măsură ce acesta se consumă;
- de deplasare de-a lungul cusăturii;
- de oscilaţii transversale (pendulare) în funcţie de grosimea metalului, forma şi poziţia rostului, *Figura 5.11*.

La sudurile dificile, în cornişă, se încălzeşte mai mult piesa pentru a asigura pătrunderea necesară, iar la sudurile pe plafon se lucrează cu arc scurt, electrodul sprijină baia păstoasă şi se deplasează rapid pentru a îngheţa rapid baia metalică.

După poziţie, se disting mai multe moduri de sudare, *Figura 5.12*, cu remarca prin care se poate spune că cel mai favorabil mod de sudare este în poziţie orizontală.

Pentru construcţiile sudate spaţiale, pregătirea fabricaţiei în afară de punctare (cu electrozi de 4 mm) necesită şi prinderea în dispozitive de manevrare a construcţiei astfel încât orice cordon din orice poziţie spaţială să poată fi adus în poziţie orizontală în vederea sudării.

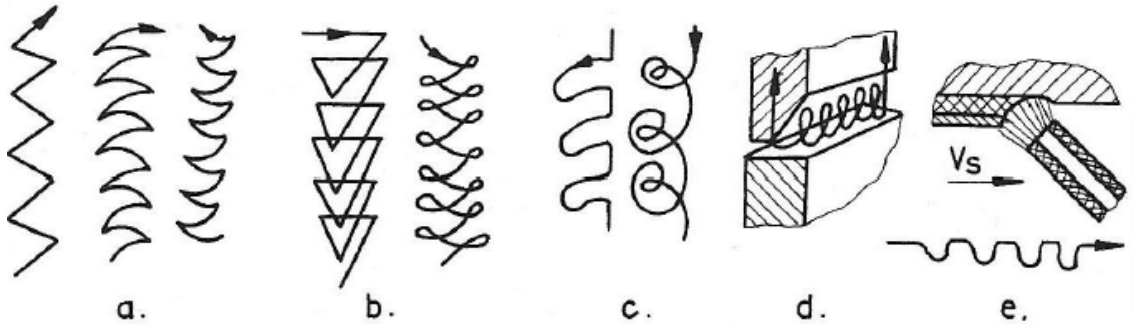


Figura 5.11. Tipuri de mişcări ale electrodului:
a – la suduri normale; b – cu încălzirea suplimentară a ambelor piese;
c – cu încălzirea suplimentară a unei piese; d – în cornişă; e – pe plafon.

În general, metalul de bază cu o grosime mai mare de 10 mm, se sudează în mai multe straturi din mai multe rânduri fiecare. Un rând, la o singură trecere, depune un metal a cărei grosime nu poate depăşi dublul grosimii electrodului. În *Figura 5.13* se dă un exemplu de cusătură în *V*. La depunerea unui rând, în funcţie de lungimea cusăturii, pentru evitarea deformaţiilor, acesta se realizează pe segmente, *Figura 5.14*.

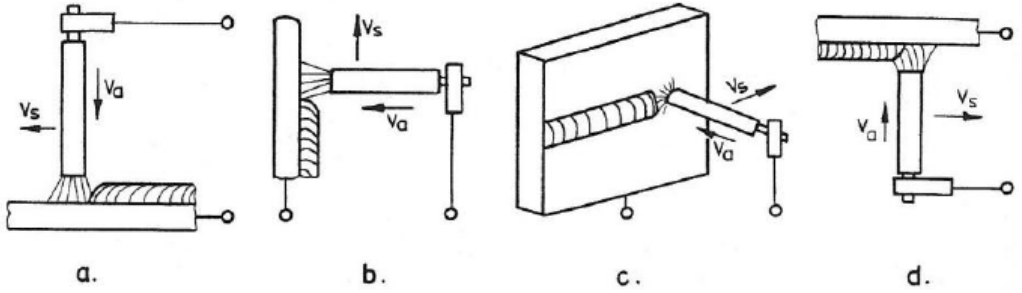


Figura 5.12. Poziţii de sudare manuală cu arc electric:
a – orizontală normală; b – verticală; c – în cornişă; d – de plafon.

Ordinea de depunere a segmentelor în straturi suprapuse la sudurile lungi, cel mai bine este în sistemul zidit, *Figura 5.15*, sau în cascadă, *Figura 5.16*.

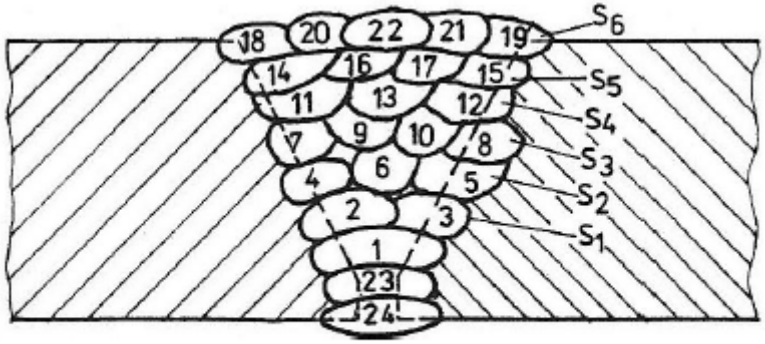


Figura 5.13. Ordinea depunerii rândurilor în straturi.

Lucrări de completare la sudură. În funcţie de locul şi importanţa îmbinării, pot fi făcute următoarele lucrări de completare la sudură:

- curăţirea cordonului de stropi şi de zgură;
- îndepărtarea supraînălţărilor prin aşchiere, din motive estetice sau funcţionale;
- rectificarea zonei de trecere între metalul de bază şi faţa sudurii la piese supuse la solicitări de oboseală;
- detensionarea pieselor prin tratamente termice sau detensionarea mecanică prin ciocănire uşoară sau vălţuire;
- controlul de calitate al îmbinărilor.

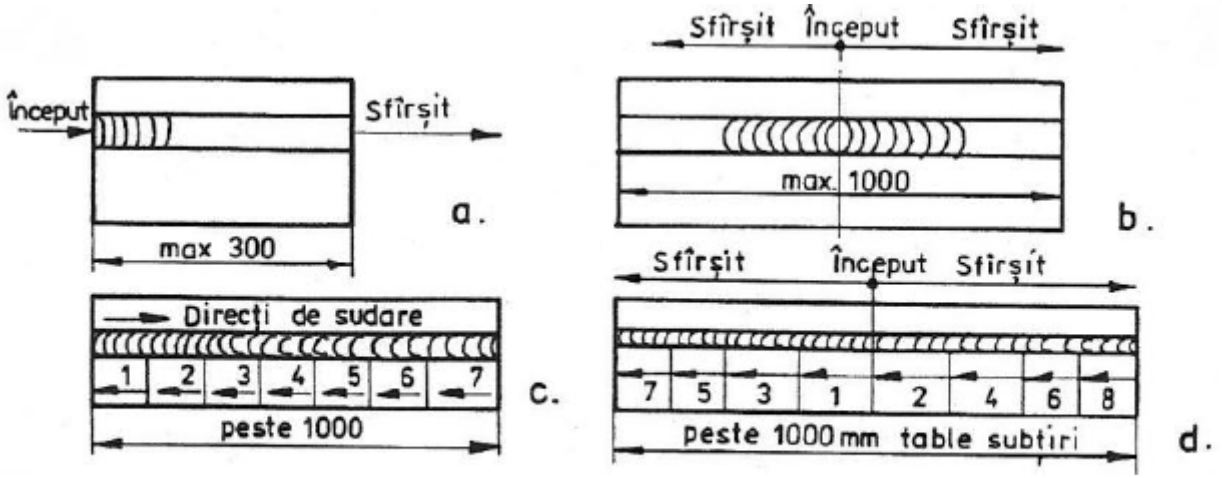


Figura 5.14. Moduri de execuţie a sudurii într-un rând:
a – în rând continuu; b – de la centru spre margini; c – în pas de pelerin; d – în salturi.

Aplicabilitatea metodei de sudare manuală cu arc electric este legată de realizarea sudurilor scurte şi curbe în orice poziţie a construcţiei sudate şi de asemenea, pentru realizarea de cordoane în locuri greu accesibile cu metode automate, ca şi în lucrările de construcţii-montaj şi de asamblare a unor construcţii complexe. Sudarea manuală asigură cordoane de calitate, însă are o productivitate scăzută, de exemplu faţă de sudarea automată sub flux.

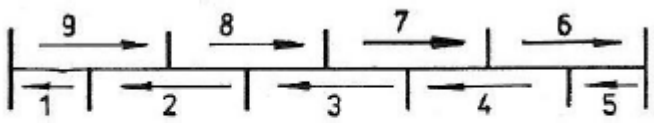


Figura 5.15. Depunerea segmentelor de rând în straturi suprapuse.

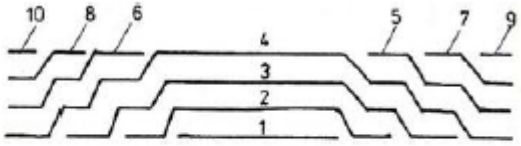
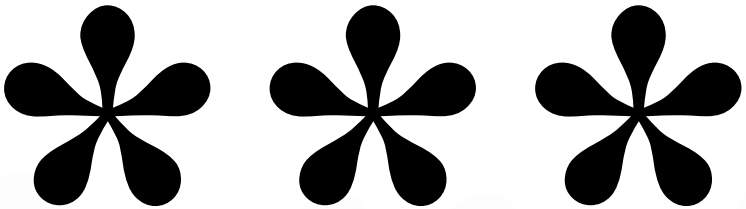


Figura 5.16. Ordinea depunerii la sudarea cu mai multe straturi.

Productivitatea este strâns legată de intensitatea curentului, însă la sudarea manuală este limitată. La intensităţi de curent peste cele recomandate pentru electrodul învelit ales, se produce supraîncălzirea electrodului şi exfolierea învelişului, stropirea puternică a metalului şi arderea metalului.

Sudarea manuală adesea este înlocuită cu procedee semiautomate de sudare în atmosferă de gaze protectoare.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

- **Sudarea termică 2**

Sudarea termică

Sudarea automată cu arc electric sub flux

În cazul acestui procedeu se folosesc sârmă electrod neînvelită şi flux pentru protecţia arcului şi băii de sudură de acţiunea agresivă a atmosferei prin agenţii oxigen şi azot.

Avansul şi deplasarea sârmei electrod se face mecanizat şi sunt automatizate procesele de amorsare şi de depunere a metalului de-a lungul cordonului de sudură, *Figura 5.17.*

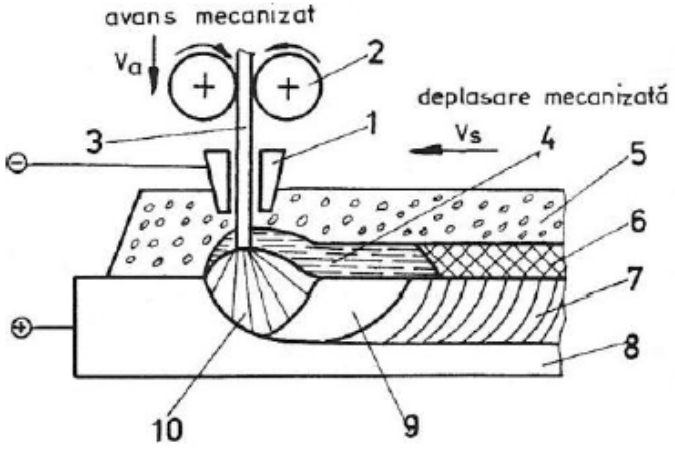


Figura 5.17. Schema sudării automate sub strat de flux:
1 – patină contact curent; 2 – role de antrenare; 3 – sârmă electrod; 4 – baie zgură; 5 – strat de flux; 6 – zgură solidificată; 7 – metal depus; 8 – metal de bază; 9 – baie metalică; 10 – arc electric.

Fluxul 5 granular se depune automat pe o grosime de 30÷50 mm. O parte a fluxului se topeşte şi ca urmare, în jurul arcului electric se formează o atmosferă de gaze, iar pe suprafaţa băii metalice ia naştere *zgura lichidă 4.*

Sudarea sub strat de flux asigură o pătrundere mare în metalul de bază, iar arcul electric puternic şi viteza de deplasare a electrodului în lungul cusăturii conduc la o densificare a metalului topit în sens invers vitezei de sudare şi în timp, prin solidificare, se nasc *stratul de metal solid 7* şi *stratul de zgură solidă 6.*

Avansul materialului de adaos (sârma electrod) se face automat, menţinându-se constantă lungimea

arcului. Aceasta, după tipul automatului de sudare se poate realiza cu avans variabil, când caracteristica externă a maşinii este puternic coborâtoare sau cu avans constant, când caracteristica externă a maşinii este coborâtoare, dar cu o pantă mai lină, *Figura 5.18*.

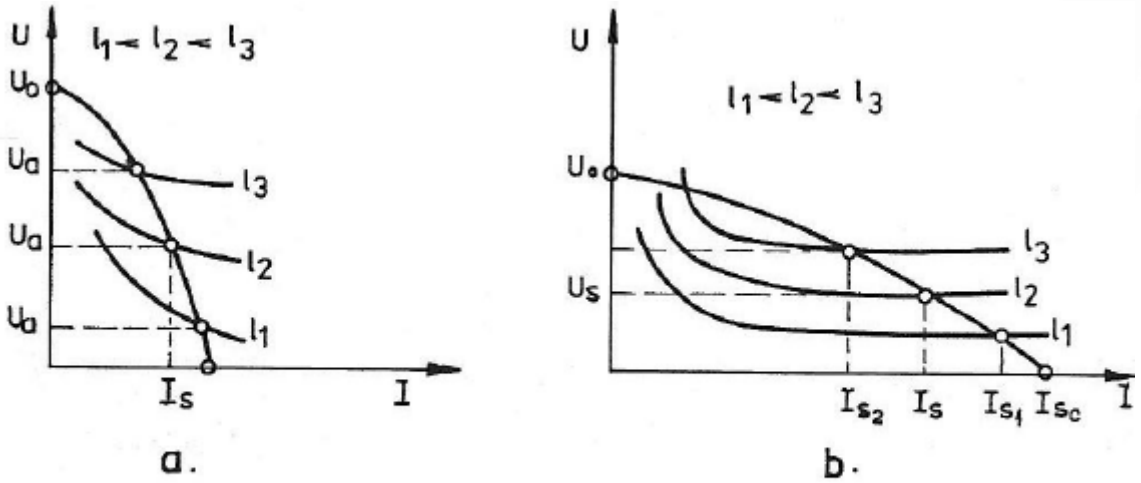


Figura 5.18. Caracteristicile statice ale arcului reglate automat prin avans:
a – cu avans variabil; b – cu avans constant.

Astfel, în primul caz, avansul se reglează de la motorul de antrenare a sârmei prin variaţia tensiunii, iar în al doilea caz cu avans constant, prin variaţia curentului.

Sudarea termică

Sudarea automată cu arc electric sub flux

Alimentarea arcului se face de regulă în curent continuu, cu intensităţi mari de curent de 500÷600 A sau de 1000÷1200 A, dar şi în curent alternativ. Schema de principiu a instalaţiei automate se prezintă în *Figura 5.19*.

Tehnologia sudării prezintă următoarele aspecte specifice:

- pregătirea metalului de bază se face în condiţia în care cel de adaos (sârma electrod) nu participă cu mai mult de 50%. Rostul sudurii diferă de sudarea manuală şi se face conform STAS 6726-85, în sensul că unghiurile de deschidere

- sunt mai mici şi rădăcinile sunt mai mari. În multe cazuri, pentru a evita străpungerile se prevăd şi garnituri de rădăcină fuzibile (rămân legate de piesă) sau infuzibile (şine de cupru răcite cu apă);

Sudarea termică

Sudarea automată cu arc electric sub flux

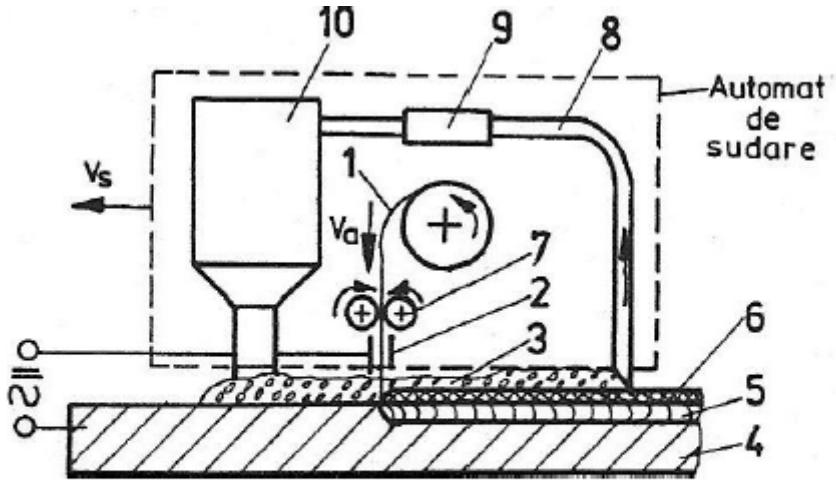


Figura 5.19. Schema automatului de sudare sub strat de flux: 1 – sârma electrod; 2 – contact; 3 – flux; 4 – metal de bază; 5 – sudură; 6 – zgură solidă; 7 – role; 8 – conductă de aspiraţie; 9 – aspirator de flux; 10 – rezervor de flux.

- alegerea regimului de sudare este determinată, în sensul că intensitatea poate varia în limite foarte mari (180÷5000 A), ceea ce asigură densităţi de curent de 10÷200 A/mm^2 şi tensiuni între 20 şi 70 V. Alegerea se face după aceleaşi criterii ca şi la sudarea manuală cu arc electric;
- fluxul folosit trebuie corelat cu metalul de sudat. Astfel, pentru oţelurile cu puţin carbon şi slab aliate se folosesc fluxuri topite pe bază de siliciu şi mangan, pe când la sudarea oţelurilor aliate se folosesc fluxurile ceramice bazice (cu compuşi ai calciului, aluminiului).

Avantajele sudării sub strat de flux sunt: productivitatea este net superioară, de 30 g/Ah faţă de 7g/Ah la sudarea manuală. Aceasta este posibil prin creşterea densităţii de curent, datorită capului care prinde sârma foarte aproape de arc şi evită supraîncălzirea electrodului şi prin urmare şi viteza de sudare este mai mare; cusătura este de calitate superioară, metalul protejat şi dimensiunile uniforme iar faţa sudurii este aspectuoasă; se poate face alierea metalului în cordon; consumul de metal redus, se elimină stropii; pătrunderea sudurii este mare (1÷120 mm) cu viteze de sudare de 10÷300 m/h, utilizându-se sârme cu diametrul de 1,4÷14 mm.

Dezavantajele procedeului sunt: arcul este ascuns şi reclamă o conducere automată bine reglată, altfel se părăseşte axa sudurii; rostul trebuie bine pregătit, în sensul deschiderii şi al planeităţii sau circularităţii perfecte a metalului de bază; poziţionarea şi susţinerea pieselor cere dispozitive speciale; instalaţiile de sudare sunt scumpe.

Faţă de avantaje metoda are mare aplicabilitate în producţia de serie şi masă, în suduri liniare şi circulare, în poziţie orizontală. Se utilizează în fabricaţia cazanelor, rezervoarelor de lichide şi gaze, corpul navelor, poduri sudate, în sudarea bandajelor pe roţi, a batiurilor, a ţevilor cu sudură longitudinală sau în spirală.

Metoda cunoaşte şi varianta semiautomată, unde numai sârma este avansată automat, restul operaţiunilor le execută operatorul, ca şi variante ale sudării automate sub strat de flux, cu arce multiple, cu electrod lamelar, tubular etc.

În acest procedeu, arcul electric se vede, dar este sub protecţia unei atmosfere, întreţinute de la butelie, de gaze de protecţie, după caz inerte, hidrogen, CO_2 sau alte gaze.

Sudarea cu gaze inerte. Corespund scopului, gazele heliu şi argon. Mai folosit este argonul deoarece este mai ieftin şi mai greu, pe când heliul este mai uşor, mai scump şi se consumă mai mult. Argonul se livrează în butelii la presiuni de 15 MPa.

Se deosebesc două procedee: cu electrod infuzibil (WIG – wolfram-inert gaz); cu electrod fuzibil (MIG – metal-inert gaz). Cele două variante se prezintă schematic în *Figura 5.20*.

Metoda WIG se foloseşte pentru sudarea metalelor cu grosimi de 0,5÷6 mm, când se foloseşte electrod de wolfram infuzibil (wolframul se topeşte la 3370°C). Sudarea până la grosimi de metal de 3 mm se face numai cu topirea metalului de bază, peste această grosime, se foloseşte sârma de adaos avansată în arc manual sau automat, *Figura 5.20(a)*.

Sudarea se face în curent continuu cu polaritate directă, tensiunea arcului fiind de 10÷15 V, polaritatea inversă consumă electrodul şi creşte tensiunea arcului. Totuşi, polaritatea inversă este importantă pentru că elimină oxizii de pe suprafaţa metalului de bază. Explicaţia acestui fenomen rezidă în bombardamentul metalului de bază cu ionii grei de argon (argonul este de 1,38 ori mai greu decât aerul, iar CO_2 de 1,52 ori) care distrug mecanic peliculele de oxizi. Pe acest considerent, polaritatea inversă se foloseşte la sudarea aluminiului, magneziului şi aliajelor lor, dar şi la sudarea oţelurilor inoxidabile.

Sudarea termică

Sudarea în mediu de gaze protectoare

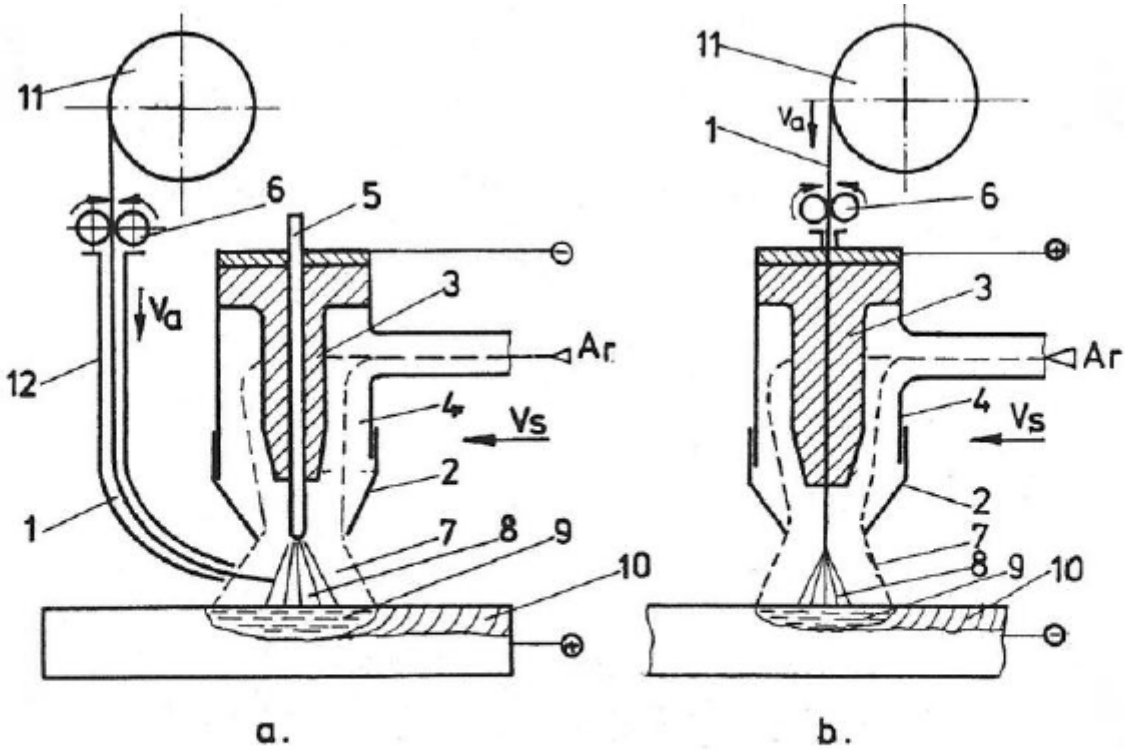


Figura 5.20. Scheme ale metodelor de sudare cu gaze protectoare:
a – metoda MIG; b – metoda WIG; 1 – metal de adaos; 2 – ajutaj; 3 – ghidaj conductor; 4 – corpul pistoletului; 5 – electrod infuzibil din wolfram; 6 – role de avans; 7 – atmosferă de argon; 8 – coloana arcului; 9 – baia metalică; 10 – cordon de sudură; 11 – toba cu sârmă de sudură; 12 – ajutaj de conducere sârmă sudură.

Metoda MIG, se foloseşte pentru sudarea metalelor cu grosimi de peste 1,5 mm, utilizându-se sârma electrod avansată automat în arc, *Figura 5.20(b)*. Sudarea se desfăşoară cu succes la densităţi de curent mari de peste 100 A/mm^2. La densităţi mici, picăturile de metal sunt mari, nu fuzionează bine cu metalul de bază şi formează un cordon poros şi dă o slabă topire a metalului de bază. La densităţi mari, picăturile sunt fine şi sub acţiunea câmpului electromagnetic formează un jet concentrat cu metal topit. Această ultimă condiţie reclamă deci electrozi de diametru mic (0,3÷0,6 mm) şi viteze mari de avans, ceea ce nu poate fi asigurat decât de metoda cu avans automat a sârmei în arc. Metoda foloseşte polaritatea inversă pentru a creşte productivitatea topirii sârmei electrod.

La sudarea cu gaze inerte, pentru o mai bună stabilitate a arcului, indiferent de polaritate, dar mai ales în metoda WIG se suprapune peste curentul de sudare o componentă de înaltă frecvenţă, prin intermediul unui subansamblu electronic ataşat pistoletului de sudură.

La sudarea oţelului, adesea se foloseşte o atmosferă de Ar+5% O_2, oxigenul micşorând tensiunea superficială a metalului şi prin urmare, jetul de picături fine se poate obţine şi la densităţi mai mici de curent, deci se pot suda şi metale subţiri cu densităţi mai mici de curent.

Sudarea cu hidrogen atomic. Foloseşte arcul dintre doi electrozi infuzibili de wolfram, în curent alternativ, ca agent de insuflare fiind folosit hidrogenul, *Figura 5.21*.

Sudarea termică

Sudarea în mediu de gaze protectoare

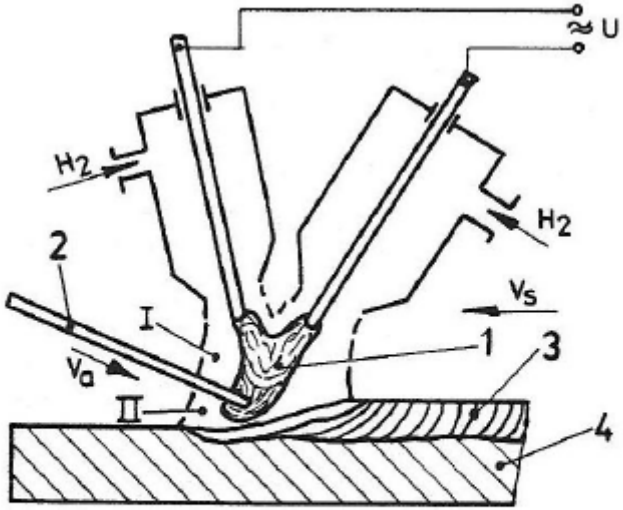


Figura 5.21. Schema sudării cu hidrogen atomic
1 – nucleul arcului; 2 – metal de adaos;
3 – sudură; 4 – metal de bază.

În nucleul arcului, hidrogenul molecular disociază:

$$H_2 \rightarrow 2H - Q, \qquad (5.8)$$

unde Q reprezintă cantitatea de căldură absorbită care este de 421 KJ/mol şi se obţine un hidrogen atomic deosebit de activ (*zona I*, aureolă puternic strălucitoare). În trecerea spre metalul de bază, hidrogenul atomic se neutralizează şi cedează energia acumulată prin disociere şi reacţie exotermă, *zona II*. În această zonă metalul de bază şi cel de adaos se topesc şi formează *cusătura 3* sub o pătură de hidrogen protector.

Datorită tensiunii de amorsare mari (circa 300 V) şi a tensiunii de lucru ridicate (50÷100 V) şi datorită şi costului ridicat, procedeul se aplică mai rar şi numai la sudarea sau repararea unor piese din aliaje speciale cum sunt aliajele uşoare şi oţelurile bogat aliate.

Sudarea cu atmosferă de CO_2, se face numai cu electrod fuzibil, *Figura 5.20(b)*, cu densităţi mari de curent şi polaritate inversă, metoda fiind similară cu MIG, dar CO_2 fiind gaz activ metoda se mai numeşte şi ***MAG*** (metal-activ gaz).

Sudarea termică

Sudarea în mediu de gaze protectoare

La utilizarea bioxidului de carbon ca atmosferă de protecţie, datorită acţiunii oxidante a acestui gaz, trebuie să se ţină cont de particularităţile metalurgice ale procedeului de sudare.

La temperatura mare a arcului electric, CO_2 disociază:

$$CO_2 \Leftrightarrow CO + O\,, \qquad (5.9)$$

cu formare de oxigen activ care trebuie neutralizat pentru a nu arde metalul de bază sau elementele de aliere din compoziţie.

Neutralizarea se realizează prin folosirea unor sârme electrod cu elemente avide de oxigen (Si, Mn). Zgura formată la suprafaţa băii metalice va fi alcătuită din produse de dezoxidare (SiO_2, MnO etc.). Sârmele de sudură conţin astfel 0,8÷1% Si şi 1,2÷1,5% P.

Pregătirea rostului de sudare se face conform SR EN 29692:1994.

Adâncimea de sudare este mare şi atunci, piese până la 6 mm grosime se sudează cu o singură trecere pe o singură parte, iar cele de 6÷12 mm pe ambele părţi. Piese peste 12 mm grosime se pregătesc pentru sudare în V sau în X.

Prin acest procedeu se sudează oţelurile cu puţin carbon şi slab aliate.

Dezavantajul metodei MAG, constă în faptul că restrânge gama oţelurilor sudabile, ca urmare a faptului că la oţelurile cu mult carbon şi înalt aliate apar frecvent fenomene nedorite care conduc la porozitatea şi fragilitatea îmbinărilor sudate.

Perfecţionarea metodei s-a realizat şi prin fabricarea metalului de adaos sub formă de sârmă cu miez de flux, conţinând substanţe cu rol de dezoxidare, zgurificare şi aliere.

Metoda se utilizează la sudarea unor echipamente din industria de gaze şi petrol, construcţia de nave şi altele.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea cu plasmă

Jetul de plasmă, folosit la sudare, este de fapt un fascicul concentrat de gaze parţial sau total ionizate şi care au o temperatură de 10000÷20000°C. Plasma se obţine trecând gazul plasmagen printr-un arc puternic concentrat, *Figura 5.22*, ca agent plasmagen fiind folosit argonul, heliul, azotul, hidrogenul, aerul şi amestecuri de gaze, aceasta şi în funcţie de metalul care se sudează.

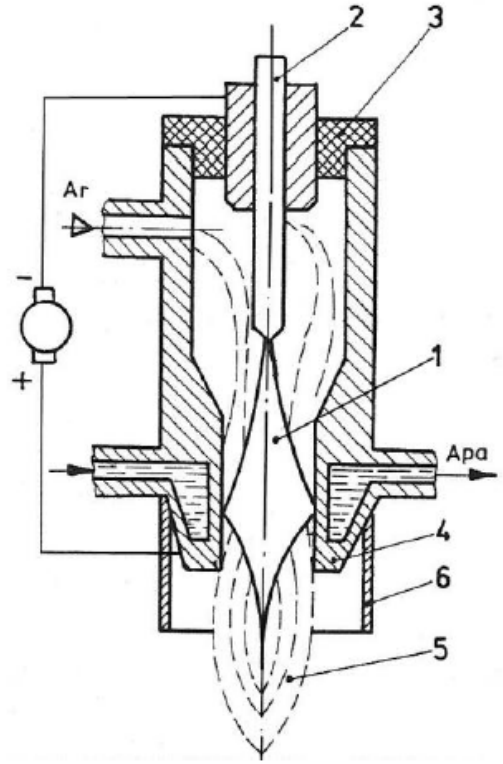


Figura 5.22. Schema capului de plasmă: 1 – arc concentrat; 2 – electrod de wolfram; 3 – piesă izolatoare; 4 – ajutaj; 5 – jet de plasmă; 6 – ajutaj suplimentar.

Jetul de plasmă independent 5, se poate folosi pentru sudare şi tăiere, iar dacă se urmăreşte protecţie cu gaze, atunci prin *ajutajul suplimentar 6* se insuflă acelaşi gaz neionizat sau alt gaz de protecţie.

Acest cap permite în limite largi să se varieze gradul de încălzire şi adâncimea de topire în metalul de bază.

Jetul de plasmă este o sursă termică deosebit de concentrată şi de mare putere termică, ceea ce face să fie utilizat pentru sudarea şi tăierea tablelor metalice subţiri şi materialelor cu conductivitate electrică scăzută ca şi pentru încărcarea cu metale greu fuzibile a suprafeţei unor semifabricate.

Faţă de sudarea în mediu de argon, sudarea cu plasmă prezintă următoarele particularităţi:

- jetul de plasmă este o sursă termică mult mai concentrată şi cu mare capacitate de topire. Se pot suda table cu grosimea până la 10 mm, fără pregătirea marginilor. Se micşorează zona influenţată termic şi se reduc mult deformaţiile;
- jetul de plasmă arde mult mai stabil, ceea ce asigură o înaltă calitate sudurii. Se pot

realiza astfel, aşa numitele microplasme care permit sudare unor metale cu grosimea de 0,025÷0,8 mm la curenţi de 0,5÷10 A;

- crescând curentul şi debitul de gaz, se poate obţine aşa numitul arc penetrant de mare concentrare termică şi presiune ridicată, ceea ce face ca metoda cu jet de plasmă să fie utilizată eficace în cazul tăierii termice a materialelor metalice;

- dezavantajul metodei îl constituie durabilitatea scăzută a capului de ardere ca urmare a ieşirii din jet şi electrod a unor picături.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea în baie de zgură

În cadrul acestui procedeu, căldura pentru topirea băii metalice şi a electrodului se obţine prin efectul Joule la trecerea curentului printr-un strat (baie) de zgură lichidă, *Figura 5.23*.

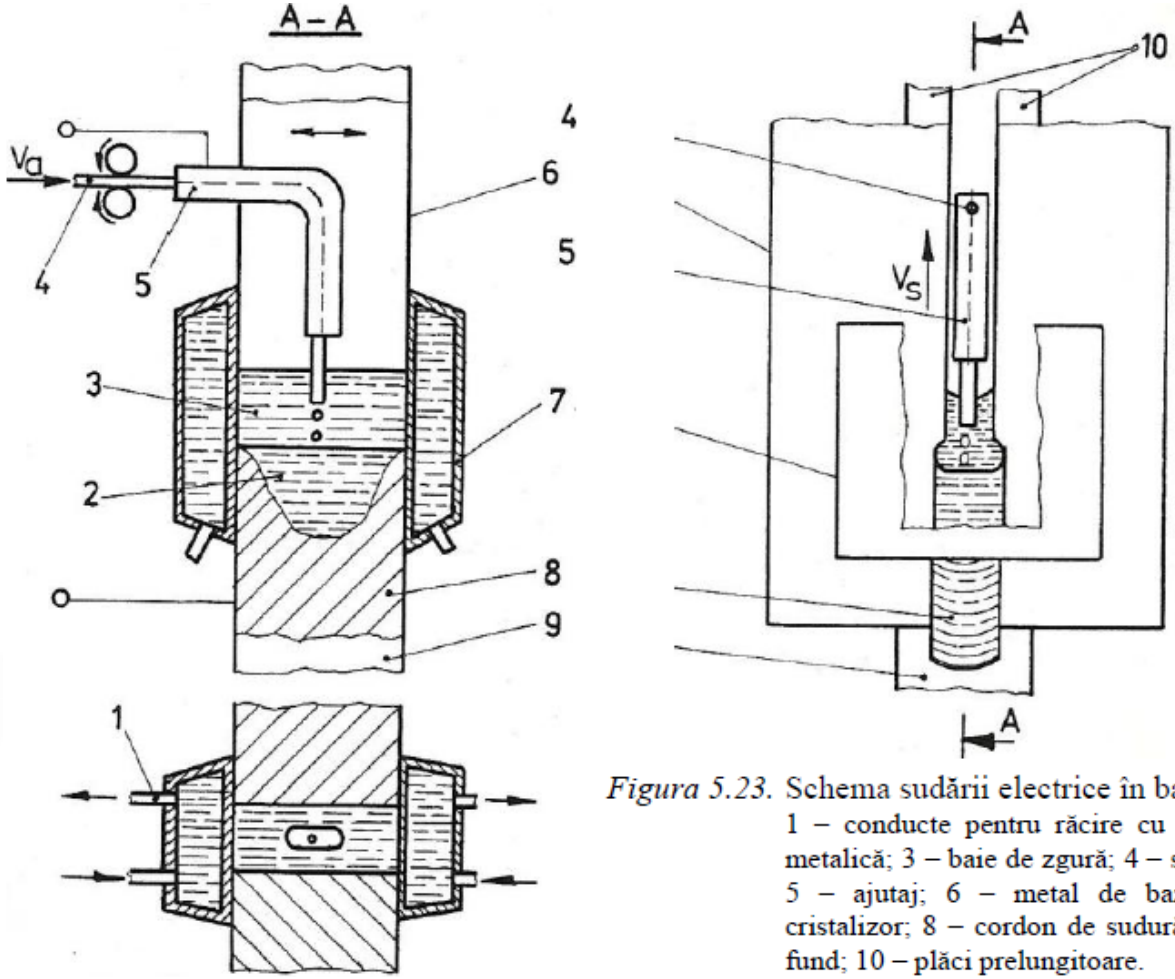


Figura 5.23. Schema sudării electrice în baie de zgură: 1 – conducte pentru răcire cu apă; 2 – baie metalică; 3 – baie de zgură; 4 – sârma electrod; 5 – ajutaj; 6 – metal de bază; 7 – plăci cristalizor; 8 – cordon de sudură; 9 – plăci de fund; 10 – plăci prelungitoare.

Sudarea termică

Sudarea în baie de zgură

Procesul debutează cu formarea *băii de zgură 3* în rostul creat de marginile metalului de bază şi *plăcile cristalizor 7*. Pentru aceasta, la început se formează un arc între electrod şi *placa de fund 9*. După formarea zgurii lichide, arcul se stinge şi avansul electrodului se face în funcţie de capacitatea de topire rezultată prin căldura acumulată de zgură la trecerea curentului (de până la 2000°C). Sârma electrod este alimentată prin *mecanismul 5* cu ajutaj şi role de antrenare.

Sudarea se execută numai vertical şi pe măsură ce rostul se umple, *sistemul de avans 5* şi plăcile *7* se ridică mereu în sus până la terminarea *cordonului 8* pe întreaga lungime de sudare. La terminarea sudării se prevăd *plăcile prelungitoare 10* care apoi se îndepărtează prin tăiere cu gaze.

Semifabricatele cu o grosime de până la 150 mm se pot suda cu o singură sârmă electrod la care se execută şi oscilaţii transversale, iar la grosimi mai mari de 150 mm cu trei şi mai mulţi electrozi, considerând un electrod la 45÷60 mm grosime. Alimentarea cu sârmă electrod se face cu automate speciale care se deplasează pe căi cu şine special amenajate, paralel cu cusătura de sudură.

Viteza de avans se determină în funcţie de viteza de umplere a rostului cu metal lichid, după următorul raţionament:

$$m v_a A_e = v_s A_r \text{, unde:} \qquad (5.10)$$

$$v_a = \frac{4\delta h}{\pi d^2 n} v_s \text{,} \qquad (5.11)$$

în care: v_a este viteza de avans a sârmei electrod;
v_s – viteza de sudare;
A_e – secţiunea electrodului;
A_r – secţiunea rostului;
n – numărul de electrozi;
h – grosimea piesei;
d – diametrul electrodului;
δ – lăţimea rostului.

Pentru creşterea vitezei de sudare un parametru uşor reglabil este viteza de avans a electrodului, însă datorită pericolului apariţiei de fisuri în sudură, aceasta se limitează la o valoare critică şi prin urmare mai bună este soluţia măririi numărului de electrozi. Obişnuit, se folosesc sârme cu diametrul de 2,5÷4 mm, cu viteze de avans de ordinul 250÷350 m/h, obţinându-se viteze de sudare de 0,8÷1,5 m/h.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea în baie de zgură

Se sudează în curent continuu sau alternativ de 42÷48 V şi de 500÷700 A. Cu creşterea tensiunii, creşte lăţimea băii, grosimea zgurii topite putând varia între 30 şi 70 mm.

Sudarea în baie de zgură prezintă următoarele particularităţi:

- *avantaje*: productivitate ridicată, o macrostructură de calitate şi pierderi mici la realizarea unui metru de sudură. Aceste avantaje se obţin datorită realizării sudurii dintr-o singură trecere, indiferent de grosimea metalului de bază şi prin urmare, lipseşte pericolul incluziunilor datorită rândurilor. Se pot depune 300 Kg metal pe oră, faţă de 2 Kg la sudarea manuală şi de 12 Kg la sudarea sub flux. Se simplifică pregătirea marginilor, acestea se pot tăia cu flacără. Se realizează o mare economie de materiale şi manoperă.
- *dezavantaje*: se formează structuri granulare grosolane în cordon şi zona influenţată termic, datorită încălzirii şi răcirii lente. După sudare, se recomandă un tratament termic de recoacere sau normalizare pentru fărâmiţarea structurii în metalul depus.

Faţă de avantaje, metoda de sudare are o mare aplicabilitate în construcţia de maşini grele, la îmbinarea detaliilor anterior fabricate prin forjare, turnare, cum sunt batiuri şi cadre pentru prese de mare putere, maşini unelte grele, arbori cotiţi pentru motoare de nave, rotori şi arbori pentru turbine hidraulice, cazane de înaltă presiune. Grosimea metalului sudat variază între 50 şi 2000 mm.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Sudarea cu fascicul de electroni

Foloseşte ca sursă termică concentrată un fascicul de electroni puternic accelerați care bombardează metalul de bază, când peste 99% din energia cinetică a acestora se transformă în căldură, care poate ridica temperatura zonei bombardate la 5000÷6000°C. Fasciculul de electroni se formează pe baza unei emisii de electroni prin încălzire în vacuum de 10^{-1}÷10^{-5} Pa, de la un *catod 1*, cu ajutorul unui set de *lentile electrostatice şi electromagnetice 4* care focalizează fasciculul pe suprafaţa metalului de sudat, *Figura 5.24*.

Sudarea se realizează prin deplasarea pieselor sub fasciculul fix sau prin deplasarea fasciculului de-a lungul pieselor.

În instalaţiile moderne, focalizarea se face pe o zonă cu un diametru mai mic de 0,001 cm, ceea ce permite să se realizeze o mare concentrare a puterii instalate şi să se realizeze astfel operaţii de sudare, găurire, tăiere sau frezare.

De asemenea, metalul depus are o pătrundere de tip pumnal, *Figura 5.25*, faţă de sudarea obişnuită cu arc electric, mult mai dezvoltată în secţiune transversală.

Puternica concentrare a căldurii prin intermediul fasciculului de electroni, permite să se găurească materiale cum sunt, safirul, rubinul, sticla etc.

De asemenea, lăţimea mică a zonei influenţată termic nu conduce la deformaţii ale construcţiei sudate. Atmosfera de vacuum asigură suduri cu suprafaţă oglindă şi o bună degazare.

Sudarea se aplică cu succes la metalele grele şi aliajele lor, ca wolfram, tantal, niobiu, zirconiu, molibden etc., dar şi aliajelor de aluminiu, titan şi oţelurilor înalt aliate.

Sudarea termică

Sudarea cu fascicul de electroni

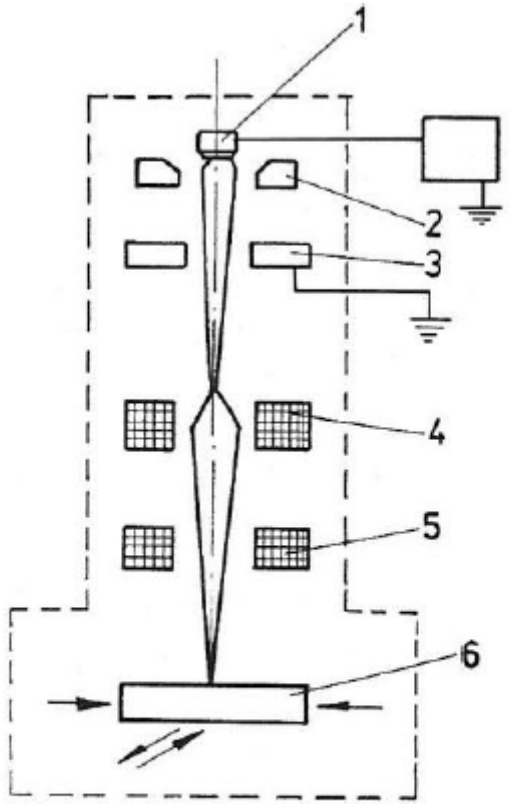


Figura 5.24. Schema instalaţiei de sudare cu fascicul de electroni:
1 – catod; 2 – electrod; 3 – anod; 4 – lentilă electromagnetică; 5 – deflector.

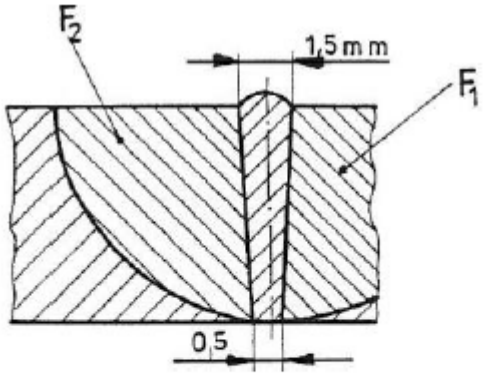


Figura 5.25. Aspectul metalului depus al cusăturii:
F_1 – la sudarea cu fascicul de electroni;
F_2 – la sudarea cu arc electric.

De asemenea, se pot suda metale de naturi diferite, de grosimi diferite şi proprietăţi termofizice diferite. Grosimea minimă a semifabricatului este de 0,02 mm, iar cea maximă nu depăşeşte 100 mm.

Se pot îmbina elemente de mecanică fină, electronică, dar şi de mare gabarit de lungime şi diametru de ordinul metrilor.

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu gaze

In cadrul acestei metode de sudare, sursa termică o constituie flacăra de gaze, respectiv de ardere a unui agent combustibil într-un agent comburant, *Figura 5.26*.

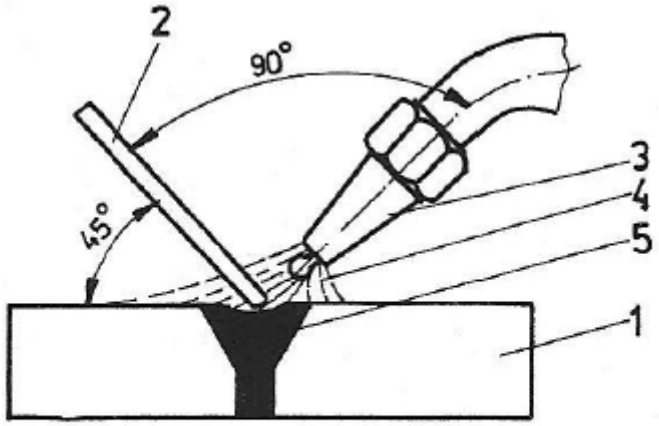


Figura 5.26. Schema sudării cu gaze:
1 – metal de bază; 2 – metal de adaos;
3 – suflai; 4 – flacără; 5 – metal depus.

Prin topirea în *flacăra 4* a *metalului de adaos 2* (sârmă) şi a marginilor *metalului de bază 1*, se depune *sudura 5*.

Ca ***agent carburant*** se foloseşte de regulă oxigenul tehnic, în butelii speciale vopsite în albastru şi cu o presiune la livrare de 150 at (15 MPa) şi pe care cu negru este scris "OXIGEN". Butelia are o capacitate de 40 litri şi la 150 at dispune de 6 m^3 N de oxigen.

Reglarea presiunii oxigenului de la cea din butelie la cea de lucru se face cu ajutorul reductoarelor, care coboară presiunea de la 15 MPa la 0,1 MPa şi au două manometre, unul pentru a indica presiunea din butelie şi al doilea pentru presiunea de regim. Reductoarele sunt vopsite albastru pentru oxigen şi alb pentru acetilenă. Legăturile între butelii şi generatoare cu aparatul de sudură se fac cu ajutorul unor furtunuri cu inserţie, colorate albastru pentru oxigen şi roşu pentru acetilenă.

Drept *agent combustibil* se foloseşte acetilena, dar şi alţi agenţi, cum sunt hidrogenul, vaporii de benzină, cherosenul, gaze de sondă, gaze naturale, multe din substanţele enumerate fiind mai ales folosite pentru tăierea termică, unde temperatura nu trebuie să fie prea ridicată.

Cel mai mult se foloseşte acetilena, care asigură o temperatură în flacără de 3200°C şi are o temperatură de ardere destul de scăzută.

Acetilena se obţine în generatoare speciale prin reacţia dintre carbid şi apă:

$$CaC_2 + 2H_2O \Leftrightarrow Ca(OH)_2 \downarrow + C_2H_2 \uparrow + Q. \qquad (5.12)$$

La 1 Kg de carbid se formează circa 250÷300 dm^3 acetilenă. Acetilena prezintă pericol de explozie la o presiune de peste 0,175 MPa, se dizolvă bine în acetonă (într-un volum de acetonă la 0,15 MPa se dizolvă 23 volume de acetilenă).

Generatoarele de acetilenă după presiunea gazului se împart în trei categorii: de joasă presiune, sub 0,05 at; de presiune medie, 0,05÷0,5 at; de înaltă presiune, 0,5÷1,5 at.

După modul de interacţiune apă cu carbid, pot fi cu apă pe carbid, cu carbid în apă sau cu contact temporar. Cea mai utilizată construcţie de generator este cea cu contact temporar, *Figura 5.27*.

La noi în ţară se construiesc generatoare la care contactul temporar se realizează prin dislocarea apei, în care caz clopotul 2 cu caseta 3 sunt fixe şi se autoreglează reacţia apă-carbid prin modificarea nivelelor ∇_1, ∇_2. Cel mai răspândit este generatorul Ga 1250-C, cu un debit orar de 1,25 m^3/h şi o încărcătură de carbid de maximum 4 Kg, este un generator de joasă presiune.

Pe traiectul gazului de la generator la suflai se montează funcţional o serie de filtre şi mai ales supapa hidraulică de siguranţă. O supapă hidraulică de siguranţă de joasă presiune este prezentată în *Figura 5.28*.

Rolul supapei hidraulice este acela de a evita întoarcerea flăcării în generator. Fenomenul de întoarcere a flăcării se produce şi datorită supraîncălzirii suflaiului, înfundării duzei sau găurii centrale a injectorului.

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu gaze

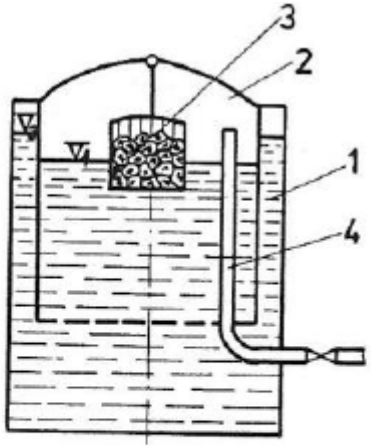


Figura 5.27. Schema unui generator de acetilenă: 1 – rezervorul cu apă; 2 – gazometrul (clopotul); 3 – caseta cu porţia de carbid; 4 – conducta de racord la suflai.

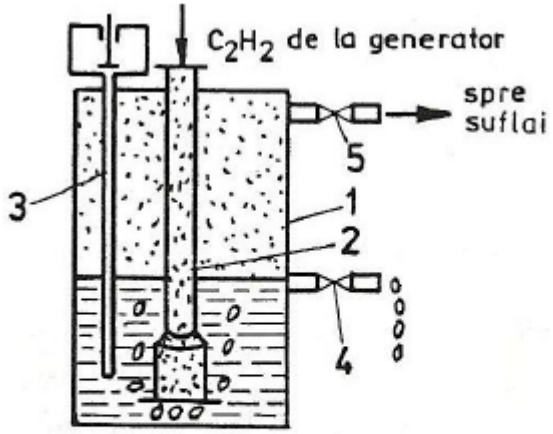


Figura 5.28. Schema unei supape hidraulice: 1 – corpul supapei; 2 – conducta de gaz; 3 – pâlnie pentru apă; 4 – robinet de apă; 5 – robinet de gaz.

Acetilena se poate livra şi în butelii vopsite alb şi pe care scrie cu roşu "ACETILENĂ". Se construiesc la fel ca cele de oxigen, presiunea de livrare a acetilenei nedepăşind 1,5 MPa. În butelie se găseşte o masă poroasă (cărbune activ) şi acetonă, în care se dizolvă acetilena, ceea ce permite stocarea unei cantităţi mai mari de acetilenă, care impregnează porii cărbunelui şi pericolul se diminuează.

Arzătorul sau suflaiul, serveşte la formarea amestecului de oxigen cu acetilenă şi la obţinerea flăcării de sudură. Constructiv, sunt de două tipuri, cu injector şi de tip amestec. Industrial, mai răspândit este suflaiul cu injector, *Figura 5.29*, care poate lucra atât la presiune joasă cât şi la presiune ridicată.

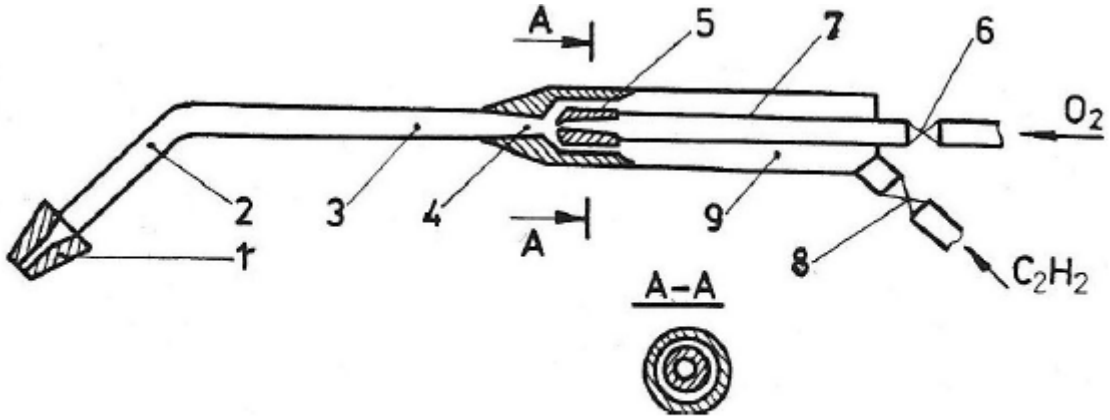


Figura 5.29. Schema suflaiului cu injector:
1 – düză; 2, 3 – cameră de amestec; 4 – cameră destindere oxigen;
5 – injector; 6, 8 – robinete; 7 – conductă; 9 – camera acetilenei.

Acest injector, în trusa de sudură cu gaze dispune de seturi de düze *1* şi camere de amestec *2, 3*, care se aleg după natura metalului de sudat, de regulă *7* seturi (STAS 4137/1-83, STAS 4137/2-80, STAS 4137/3-81).

Flacăra de sudură, *Figura 5.30*, se naşte prin arderea acetilenei în amestec cu oxigenul în diverse proporţii, deosebindu-se:

- *flacăra normală*, dacă raportul $\beta_0 = O_2 / C_2H_2 \approx 1{,}1 \div 1{,}2$ şi se foloseşte pentru sudarea oţelului carbon şi slab aliat;

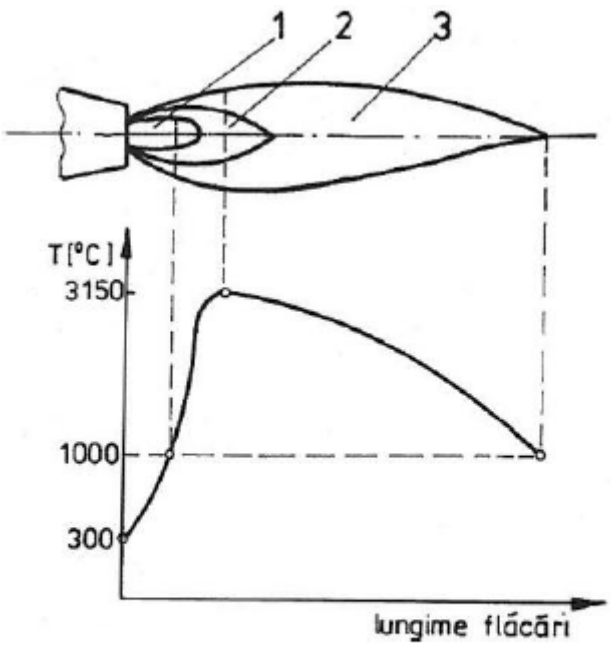


Figura 5.30. Flacăra de sudură:
1 – nucleu; 2 – flacără de sudură;
3 – flacără secundară.

- *flacăra oxidantă*, dacă raportul $\beta_0 > 1$;
- *flacăra carburantă*, când $\beta_0 < 1$ şi se foloseşte la sudarea oţelurilor speciale şi acoperire cu straturi dure.

Aşa cum se observă în *Figura 5.30*, flacăra de sudură are trei *zone*:

- *nucleul 1*, cu amestecul de gaze încălzit la temperatura de aprindere;
- zona *2*, *flacăra primară* de ardere a acetilenei:

$$C_2H_2 + O_2 \Leftrightarrow 2CO + H_2 \qquad (5.13)$$

este zona cu cea mai înaltă temperatură (3150÷3200°C), reducătoare, de culoare albăstruie, este zona cu care se lucrează la sudare;
- zona *3*, *flacăra secundară*, de ardere a acetilenei pe seama oxigenului din atmosferă,

$$2CO + H_2 + \frac{3}{2}O_2 = 2CO_2 + H_2O\,. \qquad (5.14)$$

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu gaze

Tehnologia sudării oxi-acetilenice. Realizarea unei îmbinări sudate presupune tehnologic, următoarele operaţii:

- *pregătirea pieselor pentru sudare*. Metalul de bază se curăţă pe marginile de sudat pe o lăţime de 30÷50 mm, se prelucrează şi se prind provizoriu formând rosturi adecvate grosimii materialului şi tipului de îmbinare (SR EN 29692:1994);
- *alegerea metalului de adaos* (sârma de sudură), se face la o compoziţie chimică asemănătoare metalului de bază, iar diametrul *d* se determină orientativ cu relaţia,

$$d = \frac{S}{2} + 1\,, \qquad (5.15)$$

în care *S* este grosimea metalului de bază, în mm;

- *se reglează flacăra* la un β_0, corespunzător ales ($\beta_0 = 1$ pentru cupru, aluminiu, oţel inoxidabil, $\beta_0 = 1{,}1$ la oţeluri carbon şi slab aliate şi $\beta_0 = 1{,}2$ la alame);
- *sudarea propriu-zisă*, presupune încălzirea metalului de bază şi topirea celui de adaos, între axa flăcării şi a sârmei de adaos păstrându-se un unghi de 90°, *Figura 5.26*. În ce priveşte manevrarea în procesul de sudare, se cunosc două metode: *sudare la stânga* sau înainte, *Figura 5.31(a)*, şi *sudare la dreapta*, *Figura 5.31(b)*.

În ce priveşte unghiul α, la începutul sudării pentru încălzirea metalului de bază are o valoare mai mare, după care trece la valoarea prescrisă şi spre sfârşitul sudării se micşorează pentru a evita arderea materialului. Unghiul α optim pentru sudare se dă în *Figura 5.32*.

La sudarea la stânga sau înainte sârma de adaos se mişcă înaintea arzătorului, atât sârma cât şi arzătorul executând şi mişcări transversale. Se aplică de regulă la table subţiri (sub 5 mm) şi la îmbinări de poziţie. La deplasarea suflaiului, baia metalică iese de sub acţiunea flăcării şi se răceşte rapid în contact cu atmosfera, evitându-se astfel perforările. Sudura rezultă aspectuoasă, dar nedegazată şi deci de calitate scăzută.

La sudarea înapoi sau la dreapta, în deplasare de-a lungul cusăturii, suflaiul precede sârma şi este de regulă condus rectiliniu, numai sârma de adaos execută oscilaţii transversale. Flacăra bate asupra băii metalice, răcirea este mai lentă, cusătura este mai bine degazată şi se aplică în general la table mai groase de 5 mm.

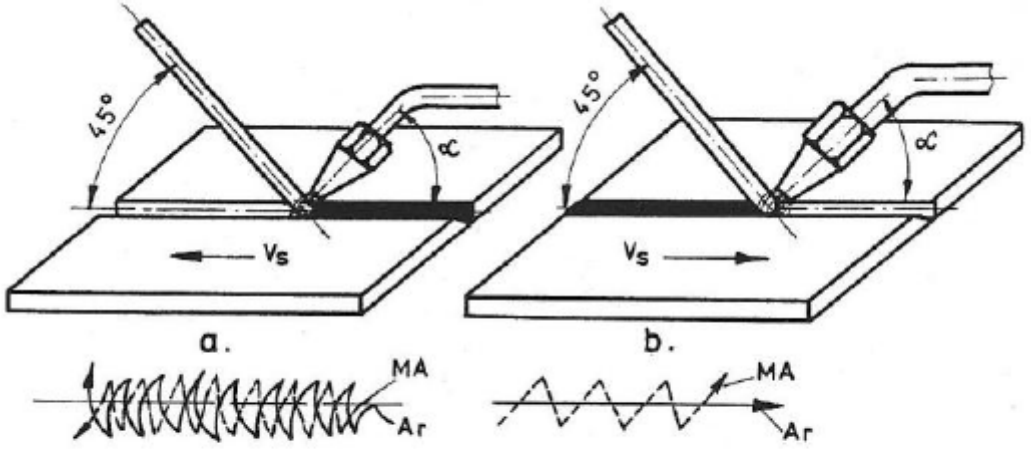


Figura 5.31. Scheme ale metodelor de sudare cu flacără:
a – înainte; b – înapoi; MA – metal de adaos; Ar – arzător.

• *lucrări de completare a sudurii*, presupun curăţirea pieselor de stropi şi de zgură, controlul tehnic de calitate şi după caz, tratamente termice, prelucrări de suprafinălţări, vopsiri etc.

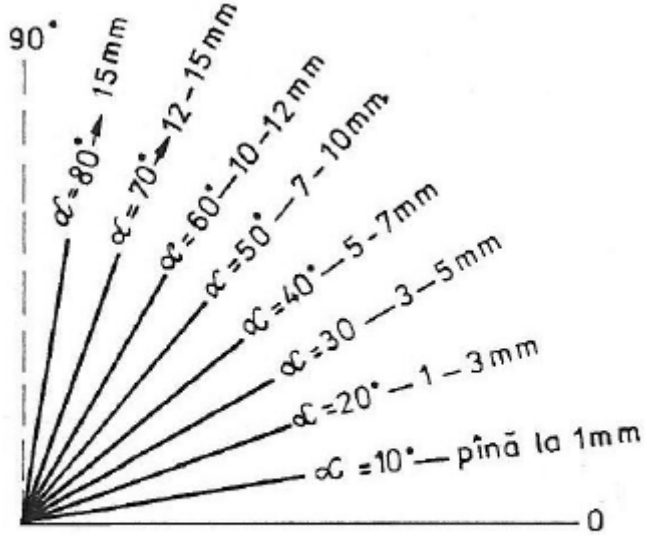


Figura 5.32. Unghiul α în funcţie de grosimea pieselor de sudat.

Sudarea oxi-acetilenică şi oxi-gaz, în general, se poate caracteriza prin următoarele ***particularităţi***:

▪ *avantaje* – este o sursă concentrată de căldură uşor controlabilă, permite sudarea de materiale cu grosimi mici (0,5÷1,5 mm), suplinind sudarea cu arc, mai greu şi chiar imposibil de utilizat; metoda este eficace în lucrări de reparaţii, iar deservirea locului de muncă mult mai uşoară;

▪ *dezavantaje* – productivitate mică, cost ridicat şi calitate slabă la sudarea de piese groase, nu se pot face alieri în cusătură, sudarea în mai multe straturi se face greu şi nu de calitate.

Faţă de avantaje, metoda se foloseşte atât la îmbinări, cât şi în reparaţii şi montaj.

La sudarea fontelor se folosesc vergele turnate de fontă, iar la acoperiri sau încărcări vergele turnate din aliaje dure.

La sudarea neferoaselor şi unor aliaje speciale se folosesc fluxuri (pentru cupru şi aliajele sale boraxul – $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, pentru aluminiu fluoruri şi cloruri de Li, Na, K, Ca).

Ca aplicaţii, sudarea cu gaze în primul rând se utilizează la sudarea tablelor subţiri, a unor metale uşor fuzibile, pentru reparaţii şi remanierea unor defecte a pieselor turnate din fontă şi bronzuri.

Sudarea termică

Sudarea prin topire cu termit

Este un caz particular, care drept sursă termică foloseşte căldura dezvoltată prin arderea unui termit, de regulă din aluminiu sau magneziu. Pentru aceasta, în jurul îmbinării se execută o formă ad-hoc, din nisip cuarţos (94%) şi un liant superior (bentonită – 7%), care se usucă şi supraîncălzeşte, în care se toarnă termitul, *Figura 5.33*.

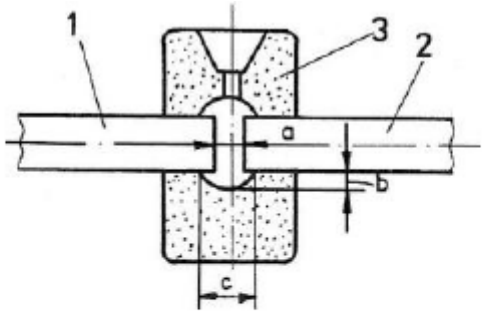


Figura 5.33. Schema sudării prin topire cu termit: 1, 2 – metal de sudat; 3 – formă de nisip; a=0,75A; b=a; $c=0,3A^{1/2}+2A$, unde A este secţiunea transversală a pieselor 1 şi 2.

Prin contactul cu marginile pieselor de îmbinat, acestea se topesc pe o anumită profunzime şi formează un aliaj cu termitul, realizându-se astfel după răcire şi solidificare îmbinarea nedemontabilă. Metoda poate lucra şi prin presiune, când termitul realizează numai încălzirea marginilor de îmbinat, sudarea făcându-se cu aportul unei forţe exterioare.

Procedeul se aplică la sudarea şinelor de cale ferată şi de tramvai, dar este limitat de costul ridicat al termitului şi mai ales de perfecţionarea sudării electrice prin rezistenţă, care o înlocuieşte.

PRELUCRAREA MATERIALELOR METALICE PRIN SUDARE

Sudarea termică

Tăierea termică a metalelor

Tăierea termică a metalelor şi a materialelor în general, se bazează pe o sursă termică concentrată aplicată pe urma de tăiere, prin care metalul urmei este topit şi îndepărtat sau chiar ars. Dintre procedee se desprind: tăierea oxi-gaz; tăierea cu oxigen şi flux; tăierea arc-aer; tăierea cu plasmă.

Tăierea oxi-gaz, se realizează prin arderea metalului în jet de oxigen şi îndepărtarea produselor de ardere (oxizi).

Totodată, prin arderea fierului în oxigen, reacţia este exotermă:

$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4 + Q\,, \qquad (5.16)$$

ceea ce favorizează întreţinerea operaţiei de tăiere.

Pentru tăiere, la început metalul se supraîncălzeşte până la temperatura de ardere în oxigen (la oţel până la 1000÷1200°C). Pentru aceasta aparatul de tăiere are un cap special care este funcţional reprezentat schematic în *Figura 5.34*. Astfel, *metalul 3* este încălzit mai întâi la *flacăra inelară* (oxi-acetilenică) *2*, după care tăierea se face prin insuflarea cu ajutorul *jetului de oxigen* (axial) *1*. La căldura flăcării se adaugă şi excedentul termic Q din reacţia (5.16).

Pentru asigurarea tăierii optime a unui metal, prin această metodă, trebuie să fie îndeplinite următoarele condiţii:

- temperatura de topire a metalului trebuie să fie mai mare decât cea de ardere în oxigen;
- reacţia de ardere să fie exotermă pentru a asigura continuitatea şi întreţinerea operaţiei de tăiere;
- conductivitatea termică a metalului să fie cât mai scăzută;
- oxizii formaţi să fie lichizi cu o vâscozitate mică, pentru a fi uşor de îndepărtat cu ajutorul jetului de oxigen.

Sudarea termică

Tăierea termică a metalelor

Practic, la condiţiile de mai sus, răspund puţine materiale metalice. Cel mai bine se supun tăierii fierul, oţelurile cu puţin carbon şi oţelurile slab aliate.

Tăierea oxi-acetilenică se utilizează în următoarele scopuri:

- la separarea materialului, când tăierea se face pe întreaga secţiune transversală şi suflaiul este perpendicular pe suprafaţa de tăiere. Pe această cale se execută croirea tablelor din oţel, se taie materiale profilate, gusee, discuri, flanşe etc.;

- la tăiere superficială, când jetul de oxigen face un unghi foarte mic cu suprafaţa de tăiere şi îndepărtează un strat de material de mică profunzime. Metoda serveşte mai ales pentru eliminarea unor defecte de suprafaţă;

- tăierea cu lance de oxigen. Lancea se execută din ţeavă cu pereţi subţiri de care este ataşată o bară-pârghie cu ajutorul căreia se conduce lancea la locul de tăiere. Tăierea începe cu preîncălzirea capătului cu ajutorul unui arzător cu gaz sau chiar cu arc electric, după care se insuflă oxigen şi reacţia de ardere este atât de intensivă încât nu mai este nevoie de preîncălzire pentru continuarea tăierii. Lancea taie şi se introduce mereu în spaţiul degajat, metoda fiind astfel eficace pentru secţiuni mari de metal. Se pot astfel da găuri în material, se taie maselotele groase, se dau găuri în beton, se perforează gurile de scurgere-evacuare de la cuptoarele metalurgice.

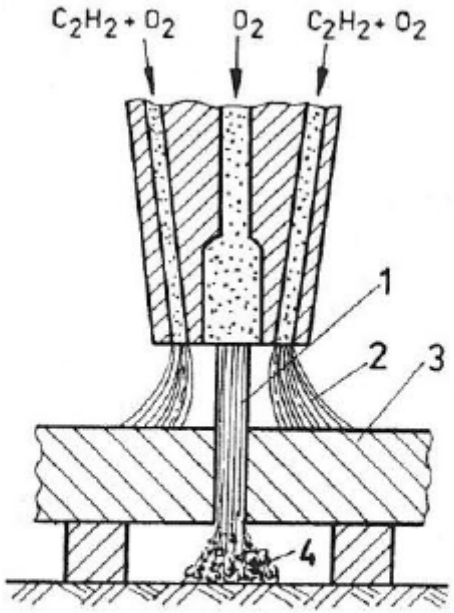


Figura 5.34. Schema tăierii oxi-gaz: 1 – jet de oxigen; 2 – flacără oxi-gaz; 3 – metal de tăiat; 4 – produsele tăierii.

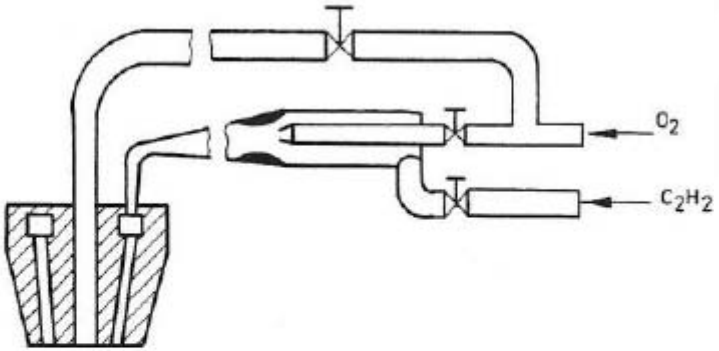


Figura 5.35. Schema suflaiului special de tăiere oxi-acetilenică.

Tăierea oxi-gaz poate fi executată manual sau cu mașini.

Pentru tăiere manuală se folosesc suflaiuri speciale, care pe lângă cele două ventile pentru flacără mai are și un al treilea care introduce axial prin capul de tăiere jetul de oxigen, *Figura 5.35*.

Sudarea termică

Tăierea termică a metalelor

Tăierea manuală, datorită deplasării neuniforme a aparatului (suflaiului) şi vibrării jetului de oxigen, nu asigură margini de calitate, motiv pentru care, după tăiere se aplică prelucrări mecanice.

Tăieri de calitate se execută cu ajutorul maşinilor, care asigură o constanţă a regimului de tăiere (deplasare cu viteză constantă, perfecta perpendicularitate pe suprafaţa de tăiere şi o distanţă fixă între material şi capul de tăiere).

Maşinile pot lucra cu unul sau mai multe capete de tăiere care pot fi conduse rectiliniu, curbiliniu sau după şablon prin copiere.

În mod obişnuit, se taie materiale metalice cu grosimi de 5÷300 mm, la grosimi mai mari folosindu-se capete speciale de tăiere.

Tăierea cu oxigen şi flux. În acest caz, pe urma de tăiere se trimite un jet de oxigen în care se introduce şi un flux pe bază de fier. Prin ardere, fluxul degajă o cantitate suplimentară de căldură care ajută arderea metalului şi în acelaşi timp particule de flux ciocnesc şi îndepărtează oxizii formaţi.

Această metodă este eficace pentru tăierea oţelurilor cu mult crom şi crom-nichel, a fontelor şi aliajelor cuprului.

Instalaţia de tăiere necesită pe lângă cele necesare conform *Figurii 5.35* şi aparatură pentru flux (buncăr sau alimentator cu flux şi suflaiuri cu posibilitate de introducere a fluxului). Se obţin margini de tăiere netede şi curate.

În *Tabelele 5.5* şi 5.6 se dau parametrii tăierii oxi-flacără şi respectiv oxi-flacără şi flux.

Tabelul 5.5. Parametrii procesului tăierii oxi-flacără a oţelurilor.

Grosime material, [mm]	Diametru arzător, [mm]	Debit		Presiune jet O_2, [daN/cm^2]	Viteza de tăiere, [m/h]	
		C_2H_2 [l/h]	O_2 [l/h]		mecanic	manual
5	10/10	275	1	2	30	25
10	10/10	275	1	3	23	18
20	15/10	420	1	2,5	17	12
50	20/10	650	1,5	2,5	12	7
100	25/10	1000	1,5	3,5	10	5
500	40/10	4000	2,5	8	6	-

Tabelul 5.6. Parametrii procesului tăierii oxi-flacără şi flux.

Aliaj	Grosime material, [mm]	Presiune oxigen tăiere [daN/cm^2]	Consum oxigen tăiere [m^3/h]	Consum gaze arzător încălzire		Consum flux [kg/h]	Consum aer [kg/h]	Viteza de tăiere [mm/min]
				O_2 [m^3/h]	C_2H_2 [m^3/h]			
Oţel Cr şi Cr-Ni	10÷40	0,7÷0,9	8÷11	0,45÷0,6	0,45÷0,6	8÷10	0,4÷0,6	140÷80
	40÷80	0,9÷1,1	11÷13	0,6÷0,8	0,45÷0,8	10÷12	0,6÷0,8	80÷40
	80÷150	1,1÷1,5	13÷16	0,8÷1,0	0,8÷1,0	12÷16	0,8÷1,2	40÷30
Fontă	25	5,4	6,9	0,7	0,85	7,9	0,36	200
	50	6,5	11,0	0,99	0,85	7,9	0,36	150
	100	7,5	18,0	1,03	0,85	8,8	0,40	120
	150	9,0	26,0	1,20	0,85	9,3	0,50	70
	200	10,5	35,0	1,54	1,0	11,5	0,60	45

Se pot utiliza şi fluxuri necombustibile (de regulă nisipuri spălate cu granulaţie medie de 0,3 mm şi un debit de 20000÷30000 grăunţi /secundă), care refulează permanent produsele tăierii.

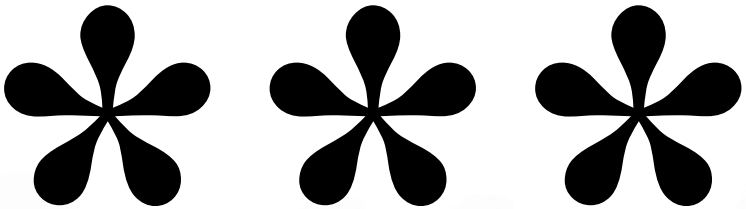
Tăierea arc-aer. Se bazează pe topirea în arc a metalului şi îndepărtarea topiturii cu un jet de aer comprimat, care se trimite paralel cu arcul sau prin inima goală a unui electrod special. Domeniul de aplicare îl constituie, de regulă, prelucrările superficiale, cum ar fi: realizarea unor caneluri de diferite adâncimi; eliminarea unor defecte superficiale, a unor detalii cu defect etc. Portelectrodul trebuie prevăzut în acest caz şi cu racordul la sursa de aer comprimat sau oxigen. De regulă, se foloseşte curentul continuu cu polaritate directă. Se pot tăia grosimi sub 20 mm la folosirea electrozilor metalici şi sub 100 mm la folosirea celor de cărbune.

Electrozii metalici sunt cu înveliş gros, care concentrează căldura, cu vergea de 4÷6 mm diametru, când intensitatea curentului electric este cuprinsă între 300 şi 350 A, la tablele de 10 mm grosime realizându-se o viteză de 200 mm/min. Pentru tăierea aluminiului şi cuprului se folosesc electrozi tubulari cu insuflare de gaze inerte, în polaritate inversă.

Tăierea cu jet de plasmă. Jetul de plasmă, Figura 5.22, oferă o mare concentrare de căldură, ceea ce îl face utilizabil la tăierea oţelurilor înalt aliate, a metalelor neferoase şi chiar a materialelor nemetalice.

Drept gaz plasmagen se foloseşte argonul, azotul, hidrogenul, heliul şi amoniacul. De cele mai multe ori se folosesc amestecuri de gaze (la oţel înalt aliat argon cu azot, la cupru şi aliajele sale argon cu hidrogen şi azot, iar pentru aluminiu şi aliajele sale argon şi hidrogen).

La o putere de până la 150 KW, capul de tăiere cu plasmă taie oţeluri cu grosimi până la 120 mm, aluminiu până la 80 mm. Calitatea tăieturii cu jet de plasmă este asemănătoare celei de la tăierea oxi-flacără, cu deosebirea că zona influenţată termic este mult mai mică (1÷1,5 mm), iar viteza de tăiere mult mai mare.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

SUDAREA PRIN PRESIUNE

SUDAREA PRIN PRESIUNE

- Sudarea prin presiune cap la cap
- Sudarea prin puncte
- Sudarea în linie
- Sudarea cu energie acumulată în condensator
- Sudarea prin presiune la rece
- Sudarea prin frecare
- Sudarea cu ultrasunete
- Sudarea prin explozie
- Sudarea prin difuziune
- Metode de încărcare a suprafeţelor
- Placarea metalelor

SUDAREA PRIN PRESIUNE

Este metoda de îmbinare nedemontabilă, prin care materialele cu sau fără încălzirea zonelor de îmbinare, sunt în final supuse unor forţe exterioare de presare care exercită o deformare plastică a metalului în îmbinare.

Încălzirea până la temperatura de presare se face de regulă prin efect Joule-Lenz:

$$Q = qI^2Rt\,, \tag{5.17}$$

în care: Q este cantitatea de căldură dezvoltată prin trecerea curentului, în J;
R – rezistenţa totală a circuitului, în Ω;
I – intensitatea curentului, în A;
t – timpul de trecere a curentului, în s;
q – echivalentul caloric al energiei.

Rezistenţa electrică totală a circuitului se determină cu relaţia:

$$R = R_s + R_c + R_e\,, \tag{5.18}$$

în care: R_s este rezistenţa semifabricatului pe lungimea de prindere l, *Figura 5.36;*
R_e – rezistenţa de contact electrod-metal de sudat;
R_c – rezistenţa contactului (oxizi etc.) între materiale.

SUDAREA PRIN PRESIUNE

În relaţia (5.18) cea mai mare componentă este R_c, datorită contactului imperfect, a asperităţilor sau a oxizilor şi prin urmare, secţiunea efectivă de trecere a curentului se micşorează.

După tipul îmbinării, se deosebesc trei procedee mai importante şi anume:

- sudarea cap la cap;
- sudarea prin suprapunere în puncte;
- sudarea prin suprapunere în linie.

Utilajele sudării prin contact şi presiune sunt şi ele specifice pentru sudare cap la cap, în puncte şi linie.

O maşină se compune din trei părţi de bază: sursa de curent (transformatorul); tabloul de distribuţie al curentului şi mecanismul de presare (mecanic, hidraulic etc.).

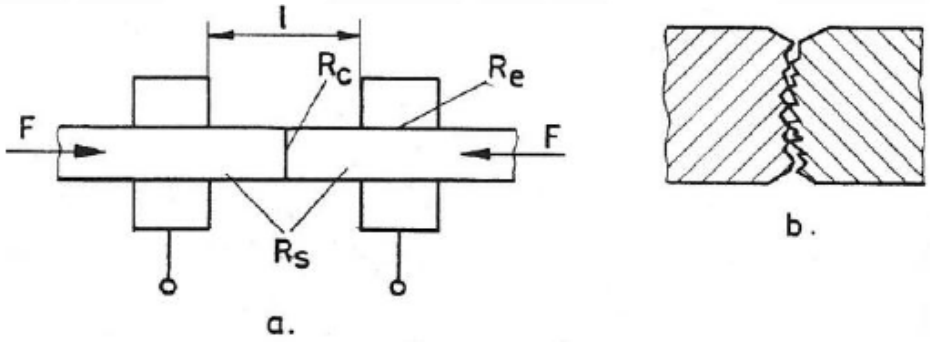


Figura 5.36. Schema sudurii de contact:
a – schema legăturilor şi funcţională;
b – aspectul contactului fizic.

SUDAREA PRIN PRESIUNE

Coeficientul transformării curentului K se determină cu relaţia:

$$K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}, \qquad (5.19)$$

în care: n_1, n_2 este numărul de spire în primarul, respectiv secundarul transformatorului;

U_1, U_2 – tensiunile corespunzătoare în primarul, respectiv secundarul transformatorului.

Se deduce că:

$$U_2 = U_1 \frac{n_2}{n_1}. \qquad (5.20)$$

La maşinile de sudat prin presiune, $n_2 = 1$, iar U_1 este o tensiune constantă şi prin urmare, variaţia regimului de lucru al maşinii se face prin variaţia lui n_1.

Întrerupătoarele mecanice şi electromagnetice se folosesc pentru puteri mici, pentru puteri mari folosindu-se dispozitive electronice.

Pentru presare, maşinile utilizează fie dispozitive şi mecanisme acţionate mecanic, fie electromagnetic, fie pneumatic sau hidraulic.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune cap la cap

In acest caz, sudarea se face pe întreaga secţiune a materialelor de îmbinat, *Figura 5.37*. Semifabricatele se prind în bacurile electrod *2* (fix) şi *3* (mobil), conectate la transformatorul de alimentare. Prin închiderea circuitului piesele se încălzesc pe porţiunea *2L* şi la momentul oportun, când se atinge temperatura de forjare, se exercită forţa *P*. Ca urmare, realizarea unei îmbinări necesită o anumită succesiune operaţională logică, cuprinsă în aşa numita cadenţă de sudare, *Figura 5.38*.

Înainte de sudare, capetele de îmbinat se curăţă bine de oxizi şi se pregătesc suprafeţele pentru un contact cât mai complet prin prelucrare mecanică.

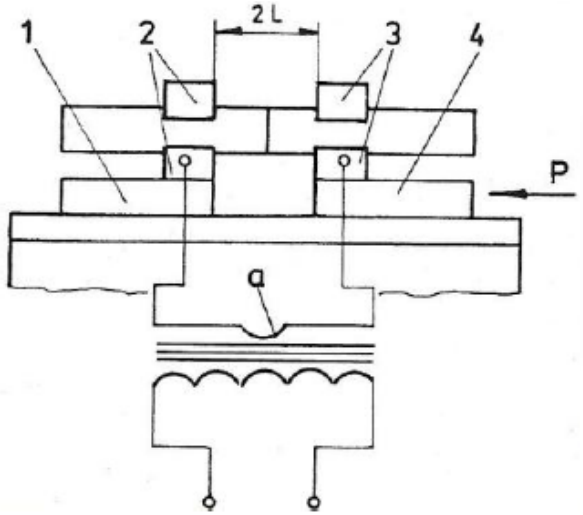


Figura 5.37. Schema sudării cap la cap prin presiune:
1 – sanie fixă; 2, 3 – bacuri electrod;
4 – sanie mobilă.

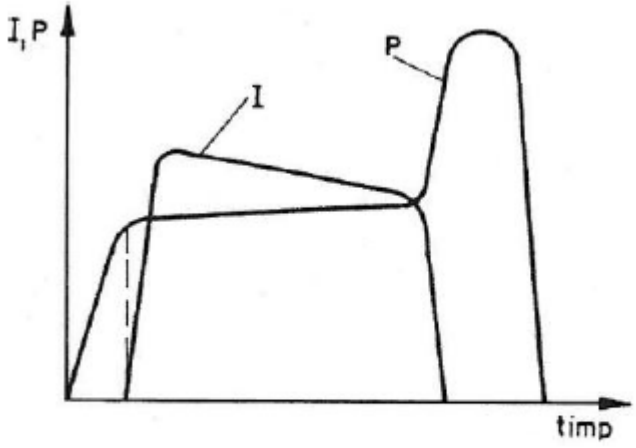


Figura 5.38. Ciclograma sudării prin presiune cu încălzire electrică.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune cap la cap

Parametrii regimului de sudare cuprind:

- densitatea de curent, în A/mm^2;
- forţa specifică de presare, în daN/mm^2;
- timpul de trecere a curentului, în h.

De asemenea, se realizează lungimea de prindere *L*, corelată cu timpul de trecere a curentului, pentru a se asigura în timp cât mai scurt încălzirea la temperatura de forjare.

Prin această metodă se pot realiza diverse tipuri de îmbinări, *Figura 5.39*.

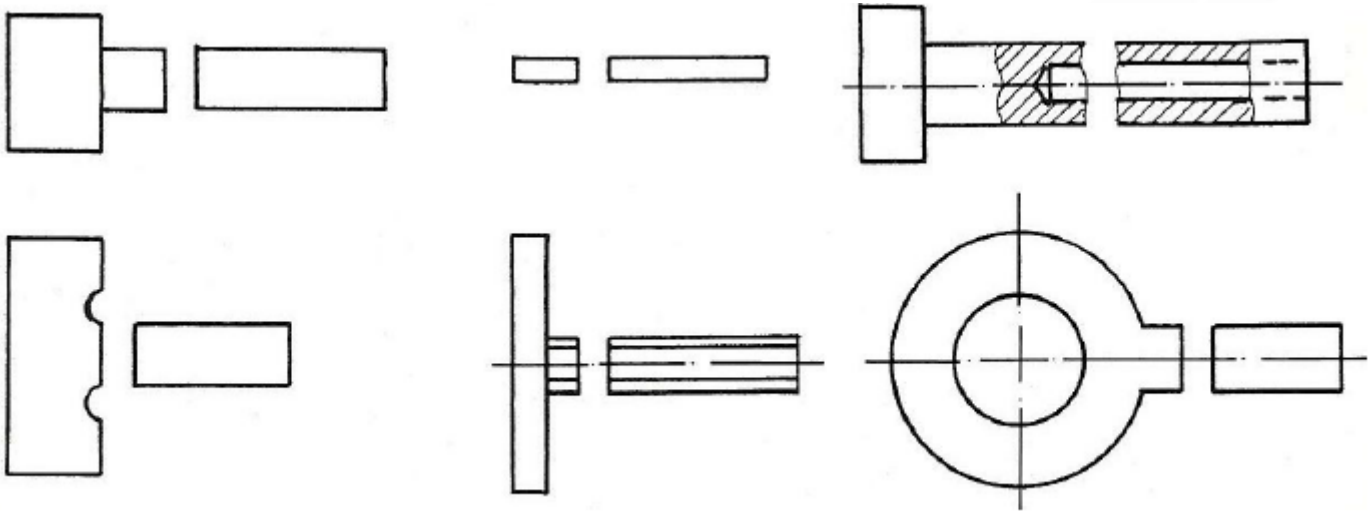


Figura 5.39. Diverse tipuri de îmbinări prin presiune de contact.

Totuşi, reuşita îmbinării este asigurată până la secţiuni de 100 mm^2, peste această secţiune, încălzirea devine neuniformă.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune cap la cap

Pe de altă parte, forma geometrică a secţiunii de îmbinare trebuie să fie simplă (pătrat, cerc, dreptunghi cu raport apropiat de valoarea 1 a laturilor).

Se pot suda pe această cale oţeluri cu puţin carbon, oţeluri slab aliate de construcţie, aliaje de aluminiu şi cupru.

Alte variante se referă la sudarea prin presiune cap la cap cu topirea continuă sau intermitentă a marginilor (capetelor) de îmbinat.

Sudarea cu topire este reprezentată ciclic în *Figura 5.40.*

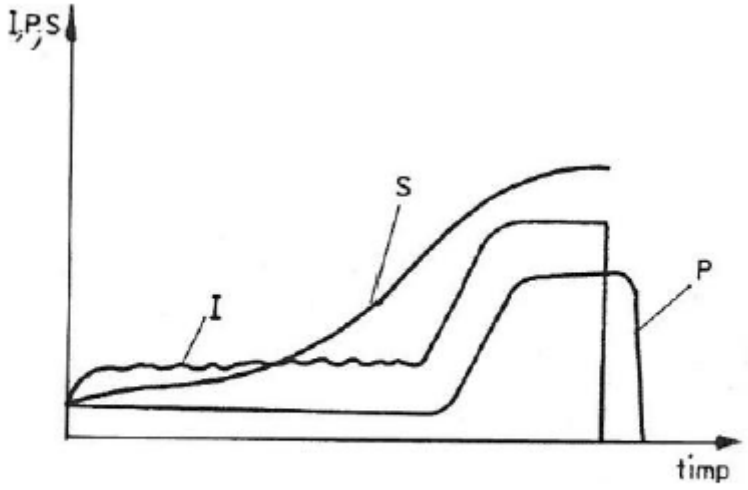


Figura 5.40. Ciclograma sudării prin presiune cu topire: S – deplasarea săniei mobile; P – forţa de presare; I – intensitatea curentului.

La începutul sudării între capetele pieselor se lasă un joc în care are loc descărcarea electrică, după care începe deplasarea piesei mobile care alimentează noi zone de topire sau care menţine constant jocul de descărcare. Când întreaga suprafaţă transversală a pieselor este topită se exercită forţa de presare, metalul lichid fiind dislocat, eliminând astfel şi oxizii. Prin solidificare se realizează îmbinarea.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune cap la cap

A doua variantă se referă la succesiunea unor scurtcircuite prin apropierea şi îndepărtarea capetelor de sudat care, la fel, topesc suprafaţa de sudat şi la momentul oportun se exercită forţa de presare, realizându-se îmbinarea corespunzătoare.

Se pot astfel suda faţă de sudarea prin contact electrorezistivă şi oţeluri rapide, cu mai mult carbon, cupru, aluminiu etc.

În general, sudarea prin presiune de contact, cap la cap, se aplică pentru elemente tubulare în construcţii, roţi şi inele, scule, şine, armături fier beton.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Sudarea electrică prin presiune în puncte este procedeul la care sudarea se produce între suprafeţele în contact a două sau mai multe piese suprapuse, strânse între electrozi. Sudarea în puncte, *Figura 5.41(a)*, se realizează în principiu la trecerea unui curent electric de intensitate mare printr-un contact, încălzirea acestuia la temperaturi peste temperatura de topire a metalului piesei, presarea şi răcirea sub presiune.

La formarea unui punct de sudură interacţionează trei procese: electric, metalurgic şi mecanic.

Procesul electric. Curentul de sudare I_s străbate piesele de sudat, concentrându-se în coloana cuprinsă între vârfurile electrozilor. În zona de contact a celor două piese, circuitul prezintă o rezistenţă de contact $R_{p_1p_2}$. Această rezistenţă este mult mai mare decât restul rezistenţelor circuitului din cauza existenţei unor impurităţi şi a peliculelor izolante pe suprafeţele pieselor şi datorită contactului imperfect (între vârfurile microneregularităţilor).

Rezistenţele pieselor R_{p_1} şi R_{p_2} depind de materialul metalic care se sudează. Rezistenţele $R_{e_1p_1}$ şi $R_{e_2p_2}$ sunt de nedorit şi efectul lor se diminuează prin utilizarea unor electrozi buni conducători de electricitate, cu plasticitate mare şi prin curăţirea suprafeţelor pieselor. Rezistenţele de contact se pot micşora dacă se măreşte forţa de apăsare, dar această soluţie nu poate fi pe deplin utilizată, deoarece se diminuează şi rezistenţa de contact dintre piese, ceea ce face să nu se mai asigure căldura necesară sudării, iar electrozii să imprime amprente pronunţate pe piese.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

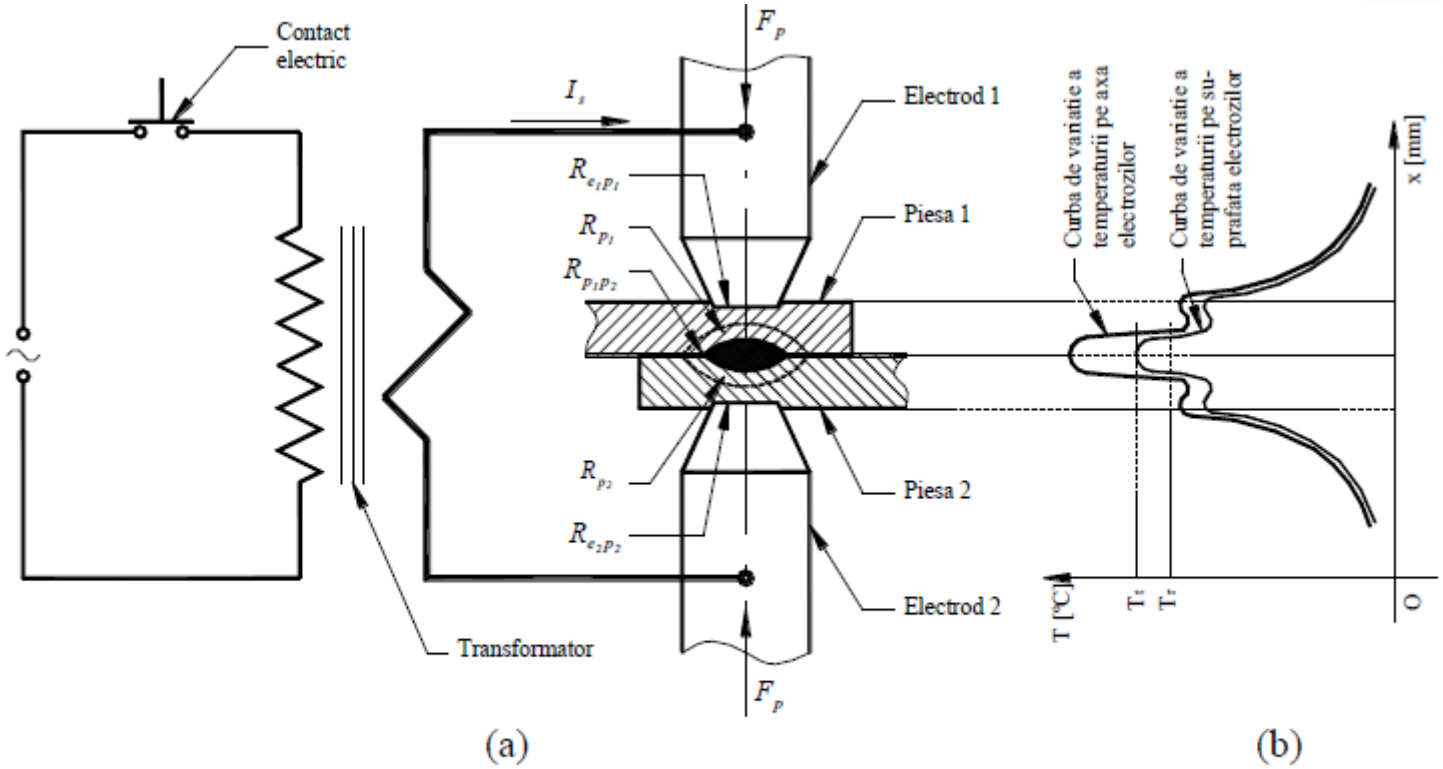


Figura 5.41. Schema de principiu a procedeului de sudare prin presiune în puncte:
(a) – formarea punctului de sudură;
(b) – câmpul termic pe coloana cuprinsă între vârfurile electrozilor.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Efectul termic al curentului electric (Joule-Lenz) fiind direct proporţional cu rezistenţa, rezultă că rezistenţele de contact pot deveni sediul unor surse termice puternice, capabile să încălzească până la topire metalul pieselor. Astfel:

$$Q = RI_s^2 t_s \quad [j] \tag{5.21}$$

în care: R este rezistenţa totală a circuitului între electrozi, în Ω;

I_s – intensitatea curentului de sudare, în A;

t_s – timpul de trecere a curentului de sudare, în s.

Rezistenţa totală, R, se determină cu relaţia:

$$R = R_{e_1p_1} + R_{p_1} + R_{p_1p_2} + R_{p_2} + R_{e_2p_2} \quad [\Omega] \tag{5.22}$$

Rezistenţa $R_{p_1p_2}$ având cea mai mare pondere din R, rezultă că la contactul dintre piese se realizează temperaturi care depăşesc temperatura de topire T_t a metalului. Câmpul termic pe coloana de metal cuprinsă între vârfurile electrozilor este prezentat în *Figura 5.41(b)*.

Procesul metalurgic. După un timp de trecere a curentului, în zona de contact, unde temperatura a crescut mai repede, se ajunge la starea de topire a metalului, formându-se un nucleu de metal topit aparţinând ambelor piese de sudat. Pe măsura încălzirii, rezistenţa de contact se micşorează, în schimb se măreşte rezistivitatea pieselor odată cu temperatura. Astfel, nucleul va creşte în dimensiuni la încălzirea în continuare, prin trecerea curentului de sudare. După un anumit timp curentul se întrerupe (altfel punctul topit creşte până la străpungere), urmând răcirea sub presiune a metalului topit (cristalizarea) obţinându-se punctul de sudură sub *formă lenticulară* în planul de separaţie a pieselor.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Procesul mecanic. Acest proces este reprezentat prin acţiunea forţei de presare în timpul operaţiei de sudare. În decursul unui ciclu de sudare, există următoarele faze consecutive de acţionare a forţei de presare:

- prestrângerea pieselor între electrozi;
- strângerea pieselor în vederea sudării;
- menţinerea forţei în timpul sudării propriu-zise;
- forjarea (tratamentul sudurii).

Mai multe puncte de sudură aşezate după o traiectorie formează o *cusătură în puncte*.

La producţia de serie şi masă, stabilirea parametrilor tehnologici optimi determină eficienţa procedeului (productivitate maximă în condiţiile unui consum energetic minim) şi concură la obţinerea calităţii prescrise a sudurii.

Principalele categorii de parametri tehnologici la sudarea în puncte sunt: parametrii semifabricatului; parametrii constructivi ai electrodului; parametrii dimensionali ai punctului de sudură; parametrii constructivi ai structurii sudate; parametrii regimului de sudare; parametrii calitativi şi parametrii eficienţei economice.

Parametrii semifabricatului se preiau din desenul de execuţie a structurii sudate. Aceşti parametri sunt:

- *materialul structurii*. La sudarea în puncte se utilizează oţeluri carbon, oţeluri slab şi mediu aliate, oţeluri inoxidabile, metale şi aliaje neferoase;
- *starea suprafeţei*. Rezistenţele de contact sunt direct proporţionale cu rugozitatea. Dacă pentru $R_{p_1p_2}$ rugozitatea mare reprezintă un avantaj, pentru rezistenţele R_{ep} aceasta reprezintă un dezavantaj. În general, rugozitatea optimă este cea medie;

- *grosimea semifabricatului,* s_p [mm].

De regulă se sudează piese cu aceeaşi grosime, din acelaşi material. Dacă piesele diferă între ele prin material sau dimensiuni rezultă un proces termic nesimetric la sudare care conduce la asimetria punctului (pătrunderea este mai mare în tabla mai groasă sau mai puţin conducătoare). Prin aplicarea unei tehnologii optime, efectul de asimetrie poate fi compensat utilizând electrozi de secţiuni diferite (electrod mai subţire la piesa mai groasă sau la cea cu conductivitate electrică mai slabă). Acelaşi efect se obţine prin intercalarea între electrod şi piesa subţire sau cea cu conductivitate electrică bună a unei folii cu conductivitate mai mică.

Parametrii constructivi ai electrodului. Circuitul de sudare trebuie să asigure curenţi de foarte mare intensitate sub o tensiune redusă. Prin intermediul elementelor circuitului de sudare se realizează şi aplicarea forţelor de presare necesare pentru sudare şi pentru menţinerea în poziţie a pieselor care urmează a fi sudate. În consecinţă, dimensionarea acestui circuit se face pe considerente electrice, mecanice şi termice.

Electrozii sunt elemente ale circuitului de sudare, în contact direct cu piesele de sudat. În afară de transmiterea curentului şi a forţei de presare necesare la sudare, prin electrozi se transmite în sens invers, de la piese, o parte a căldurii degajate în piese.

Principalii parametri constructivi ai electrodului, *Figura 5.42*, sunt:

- *materialul electrodului*. În general, electrozii trebuie să satisfacă următoarele condiţii:

– materialul utilizat să aibă conductivitate electrică ridicată;
– suprafaţa de contact cu piesele de sudat să prezinte asemenea formă şi dimensiuni încât să asigure o transmitere bună a curentului şi forţei;

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

– să reziste la încălziri şi răciri repetate (stabilitate termică;
– să prezinte rezistenţă ridicată la uzură şi oxidare;
– să asigure o transmitere eficientă a căldurii prin intermediul unui material cu conductivitate termică ridicată şi a unui sistem de răcire adecvat;
– să fie uşor de montat şi întreţinut;
– să prezinte o rigiditate suficientă.

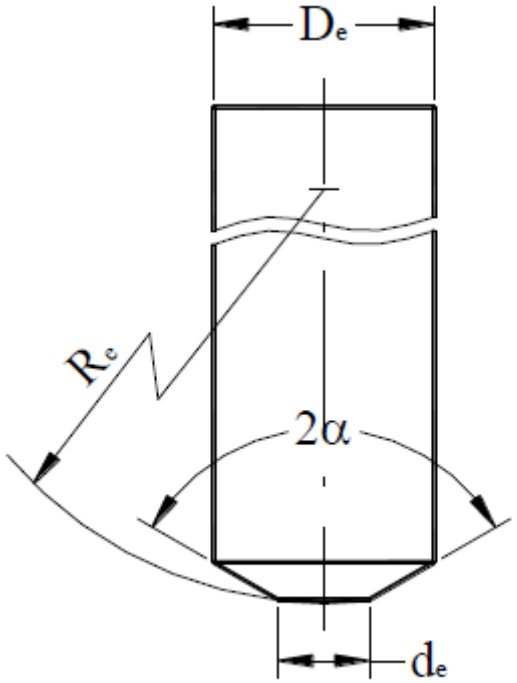


Figura 5.42. Parametrii constructivi ai electrodului.

Proprietăţile care caracterizează în mod curent materialele utilizate la executarea electrozilor sunt duritatea şi conductivitatea electrică relativă raportată la cea a cuprului electrolitic. Astfel, ca materiale se folosesc: cuprul (44 HB, 100) care se utilizează în lipsa altor materiale mai bune sau aliajele Cu-Cr (120 HB, 80), Cu-Cd (114 HB, 90) etc;

- *diametrul la vârf al electrodului,* d_e [mm] se determină în funcţie de materialul şi de grosimea s_p [mm] ale semifabricatului cu relaţii empirice. De exemplu, pentru sudarea tablelor din oţel carbon obişnuit (maximum 0,7% C) se utilizează relaţiile:

– pentru $s_p < 3$ mm, $d_e = 3 + 2 \cdot s_p$ [mm] (5.23)

– pentru $s_p \geq 3$ mm, $d_e = 5 \cdot \sqrt{s_p}$ [mm] (5.24)

Valoarea calculată se majorează la primul număr întreg, astfel:

$$d_e = \lfloor d_{e_{calculat}} \rfloor + 1 \text{ [mm]} \quad (5.25)$$

în care $\lfloor d_{e_{calculat}} \rfloor$ reprezintă partea întreagă a valorii obţinute cu relaţiile (5.23) sau (5.24);

- *diametrul electrodului,* D_e [mm] se determină în funcţie de diametrul vârfului electrodului cu relaţia:

$$D_e = 1{,}5 \cdot d_e \text{ [mm]} \quad (5.26)$$

Dacă valoarea calculată pentru D_e este mai mare decât 16 mm se alege $D_e = \lfloor D_{e_{calculat}} \rfloor + 1$, iar dacă este mai mică se alege $D_e = 16$ mm;

- *unghiul la vârf al electrodului,* 2α [°] se alege $2\alpha = 120°$;
- *raza de sfericitate a vârfului electrodului,* R_e [mm]. Suprafaţa de contact sferică este folosită, de obicei, în cazul maşinilor cu deplasare circulară a electrozilor superiori. Raza de sfericitate se calculează utilizând relaţia:

$$R_e = 10 \cdot d_e \text{ [mm]} \quad (5.27)$$

- *lungimea electrodului,* H [mm], se alege în funcţie de maşina de sudat, din gama $H = 50 \div 150$ [mm].

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Parametrii dimensionali ai punctului de sudură. Calitatea îmbinării este dată de rezistenţa punctului sau punctelor de sudură. Configuraţia unui punct de sudură, *Figura 5.43*, depinde de parametrii regimului de sudare şi de modul în care este condus procesul de sudare.

Parametrii punctului de sudură se determină, în funcţie de diametrul la vârf al electrodului şi de grosimea piesei, cu relaţii experimentale. Aceştia sunt:

- *diametrul punctului de sudură,* d_p [mm]:

$$d_p = 1{,}3 \cdot d_e \text{ [mm]} \qquad (5.28)$$

- *înălţimea punctului de sudură,* h_p [mm]: $h_p = \frac{2}{3} s_p$ [mm] (5.29)

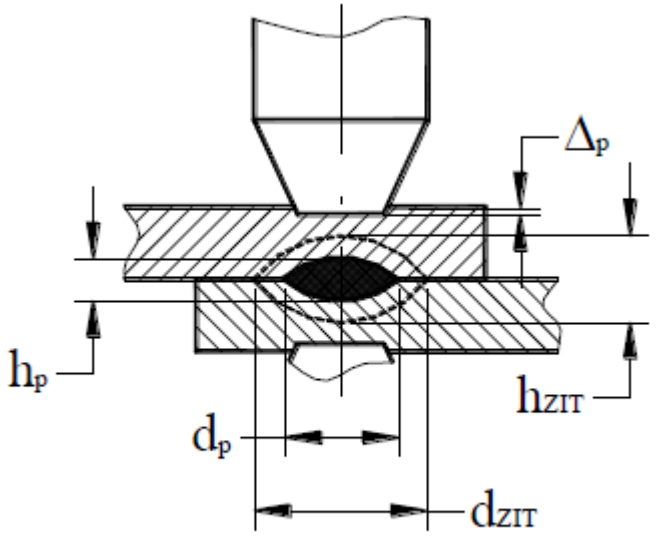


Figura 5.43. Parametrii punctului de sudură.

- *diametrul zonei influenţate termic,* d_{ZIT} [mm]:

$$d_{ZIT} = d_p + \frac{2}{3} s_p \text{ [mm]} \qquad (5.30)$$

- *înălţimea zonei influenţate termic,* h_{ZIT} [mm]:

$$h_{ZIT} = h_p + \frac{2}{3} s_p \text{ [mm]} \qquad (5.31)$$

- *adâncimea maximă a amprentei electrozilor,* $\Delta_{p_{max}}$ [mm]:

$$\Delta_{p_{max}} = 0{,}2 \cdot s_p \text{ [mm]} \qquad (5.32)$$

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Parametrii constructivi ai structurii sudate. Aceşti parametri, fie se preiau din desenul de execuţie a structurii sudate, fie se determină pe baza parametrilor punctului de sudură.

Pentru o structură sudată simplă, formată din două table, *Figura 5.44*, aceşti parametri sunt:

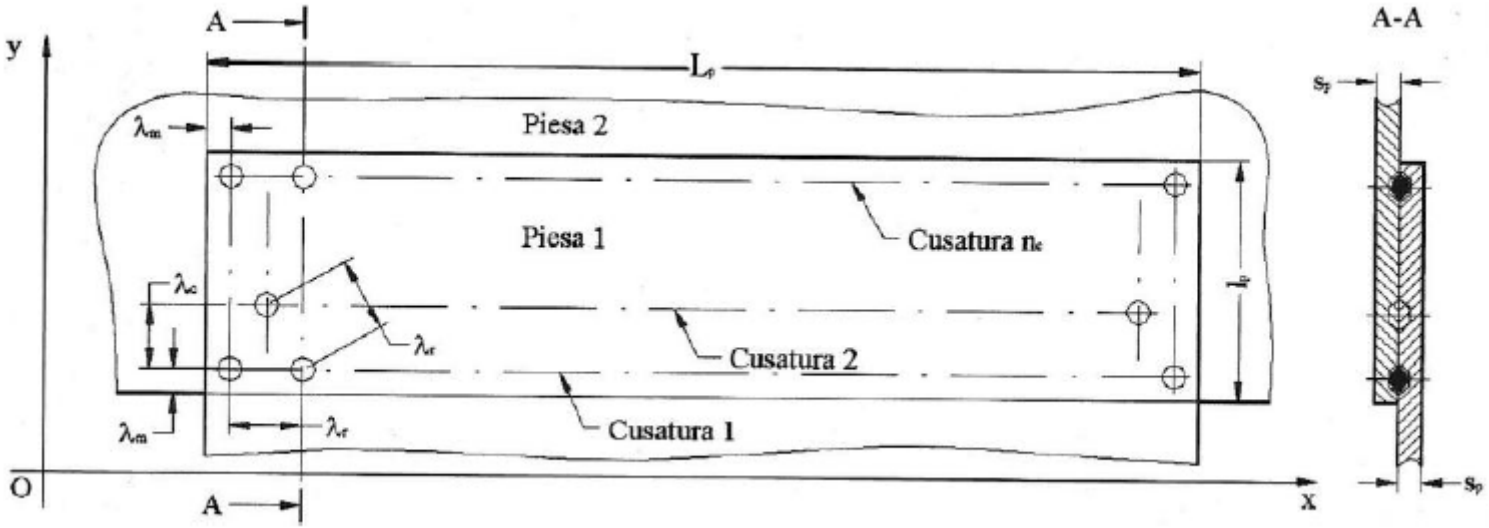


Figura 5.44. Parametrii constructivi ai unei structuri sudate.

- *lungimea de suprapunere a pieselor,* L_p [mm] se preia din desenul de execuţie a structurii sudate;
- *numărul de cusături,* n_c , se preia din desenul de execuţie a structurii sudate;

- *distanţa dintre primul punct de sudură şi marginea piesei,* λ_m [mm] se alege egală cu diametrul punctului de sudură, d_p;
- *pasul teoretic dintre două puncte de sudură,* λ_t [mm] se determină cu relaţia experimentală:

$$\lambda_t = (2 \div 3) \cdot d_p \text{ [mm]} \qquad (5.33)$$

Se obţin astfel valorile: $\lambda_{t_{min}} = 2 \cdot d_p$ [mm] şi $\lambda_{t_{max}} = 3 \cdot d_p$ [mm];

- *numărul punctelor de sudură,* n_p se determină cu o relaţie analitică dedusă astfel:

$$n_{p_1} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + 1 + 1;\ n_{p_2} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + 1;\ n_{p_3} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + 1 + 1 \ldots \qquad (5.34)$$

Se deduce:

$$n_p = n_c \cdot \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + \left[\frac{n_c + 1}{2}\right] + n_c \qquad (5.35)$$

în care prin $[a]$ se înţelege partea întreagă a numărului a;

- *pasul real dintre două puncte de sudură,* λ_r [mm] se deduce utilizând relaţia:

$$\lambda_r = \frac{L_p - 2\lambda_m}{n_{p_1} - 1} \text{ [mm]} \qquad (5.36)$$

Se impune condiţia ca:

$$\lambda_{t_{min}} \le \lambda_r \le \lambda_{t_{max}} \qquad (5.37)$$

În cazul în care condiţia (5.37) se respectă, λ_r determinat cu relaţia (5.36) este pasul real dintre două puncte de sudură.

În cazul în care $\lambda_r < \lambda_{t_{min}}$, se recalculează n_p cu relaţiile:

$$n_{p_1} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + 1;\ n_{p_2} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right];\ n_{p_3} = \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + 1 \ldots \qquad (5.38)$$

de unde,

$$n_p = n_c \cdot \left[\frac{L_p - 2\lambda_m}{\lambda_{t_{max}}}\right] + \left[\frac{n_c + 1}{2}\right] \qquad (5.39)$$

iar λ_r se determină tot cu relaţia (5.36), dar folosind n_{p_1} determinat cu relaţia (5.38).

În cazul $n_{p_1} = 1$, rezultă $n_c = 1$ prin schimbarea axelor între ele;

- *distanţa dintre cusături,* λ_c [mm] se determină din condiţia ca punctele de sudură să fie dispuse în vârfurile unor triunghiuri echilaterale, astfel:

$$\lambda_c = \frac{\sqrt{3}}{2}\lambda_r \text{ [mm]} \qquad (5.40)$$

- *lăţimea de suprapunere a pieselor,* l_p [mm] se determină cu relaţia analitică:

$$l_p = 2 \cdot \lambda_m + (n_c - 1) \cdot \lambda_c \text{ [mm].} \qquad (5.41)$$

Parametrii regimului de sudare. Regimul de sudare este caracterizat de următorii parametri: intensitatea curentului de sudare I_s, tensiunea de sudare U_s, timpul de sudare t_s şi forţa de presare F_p.

Parametrii regimului de sudare se determină pe baza următoarelor criterii:

- ♦ la sudarea pieselor cu grosime mai mare de $1\,mm$, executate din oţel moale (cu conţinut mic de carbon) sau a pieselor din oţel autocălibil (aliat, conţinând cantităţi mari de carburi ale fierului şi elementelor de aliere) se recomandă *regimuri moi* de sudare, caracterizate prin:
  - densitate de curent relativ mică, $j_s = 80 \div 160$ A/mm^2;
  - timp de sudare mare, $t_s = (1 \div 3) \cdot s_p$ [s];
  - presiune de contact mică, $p = 3 \div 5$ daN/mm^2;
- ♦ la sudarea pieselor cu grosimi mai mici decât $1\,mm$, executate din oţel carbon obişnuit, oţel inoxidabil şi din materiale cu conductivitate electrică mare (aluminiul şi aliajele sale) se recomandă regimuri dure de sudare, caracterizate prin:
  - densitate de curent mare, $j_s = 120 \div 400$ A/mm^2;
  - timp de sudare mic, $t_s = (0{,}02 \div 1) \cdot s_p$ [s];
  - presiune de contact mare, $p = 5 \div 15$ daN/mm^2;

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Practic, parametrii regimului de sudare se stabilesc astfel:

- *intensitatea curentului de sudare,* I_s [A]:

$$I_s = j_s \cdot S_e = j_s \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \text{ [A]} \qquad (5.42)$$

în care S_e este secţiunea transversală a electrodului la contactul cu piesa, iar j_s se alege în funcţie de regimul de sudare. Valoarea obţinută se rotunjeşte la cea mai apropiată valoare din gama intensităţilor posibile ale maşinii de sudat;

- *tensiunea de sudare,* U_s [V] este, în general, de $2 \div 6$ V, ea fiind determinată implicit din caracteristica externă a transformatorului maşinii de sudat, în funcţie de intensitatea curentului de sudare şi reactanţa totală a circuitului de sudare;

- *forţa de presare,* F_p [daN] se determină pe baza presiunii de contact:

$$F_p = p \cdot S_e = p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \text{ [daN]} \qquad (5.43)$$

În vederea fixării pieselor între electrozi se determină şi *forţa de prestrângere,* $F_{pstr} = \frac{1}{2} F_p$ [daN];

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

- *timpul de sudare,* t_s [s] se determină cu relaţii experimentale în funcţie de grosimea pieselor s_p, astfel:
  - pentru regimuri dure, $t_s = (0{,}1 \div 0{,}2) \cdot s_p$ [s]; (5.44)
  - pentru regimuri moi, $t_s = (0{,}8 \div 1{,}0) \cdot s_p$ [s]. (5.45)

Perioada de sudare a unui punct, T_s [s] corespunde fazelor sudării, *Figura 5.45*, fiind formată din următoarele componente:

- timpul de aşezare a pieselor pentru sudare, t_a [s];
- timpul de prestrângere a pieselor între electrozi, t_{pstr} [s];
- timpul de strângere a pieselor între electrozi, t_{str} [s];
- timpul de sudare, t_s [s];
- timpul de forjare (răcire sub presiune), t_f [s];
- timpul de desfacere a pieselor sudate dintre electrozi, t_d [s];

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

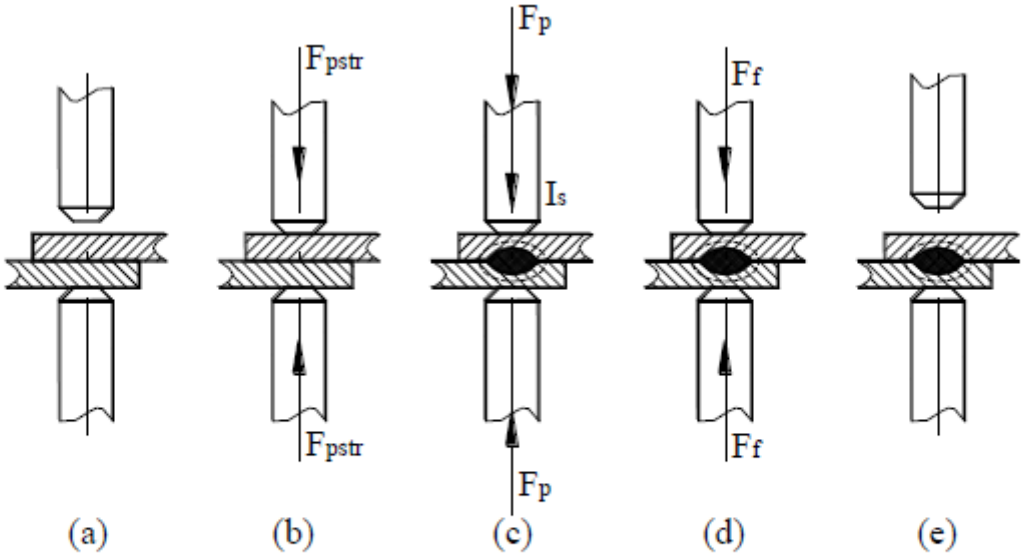


Figura 5.45. Fazele sudării în puncte:
(a) – aşezarea pieselor; (b) – strângerea pieselor între electrozi; (c) – încălzire şi sudare;
(d) – forjarea punctului (răcire sub presiune); (e) – desfacerea pieselor dintre electrozi.

Se poate scrie că:

$$T_s = t_a + t_{pstr} + t_{str} + t_s + t_f + t_d \ [\text{s}] \qquad (5.46)$$

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Dintre aceste componente, $t_a, t_{pstr}, t_{str}, t_d$ sunt funcţie de tipul maşinii de sudat în puncte şi dispozitivele aferente, iar t_f se determină în funcţie de tipul de sudare, astfel:

– pentru regimuri dure, $t_f = 2 \cdot t_s$ [s]; (5.47)

– pentru regimuri moi, $t_f = \frac{1}{2} \cdot t_s$ [s]. (5.48)

Forjarea punctului de sudură pe maşinile moderne (cu piston şi temporizare electronică) se realizează fie prin menţinerea forţei de presare după deconectarea curentului, fie prin mărirea acesteia. Forţa de forjare F_f se determină în funcţie de material şi de forţa de presare cu relaţia experimentală:

$$F_f = F_p \text{ [daN] sau } F_f = \frac{4}{3} F_p \text{ [daN]}. \quad (5.49)$$

Pe maşinile clasice (cu pârghii) nu se poate realiza forjarea punctului de sudură. Rezultă că, în relaţia (5.46) componenta $t_f = 0$.

La executarea unei structuri sudate în puncte, parametrii regimului de sudare prezintă o variaţie periodică. Fiecare tip de maşină de sudat în puncte are o ciclogramă de sudare proprie, *Figura 5.46*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

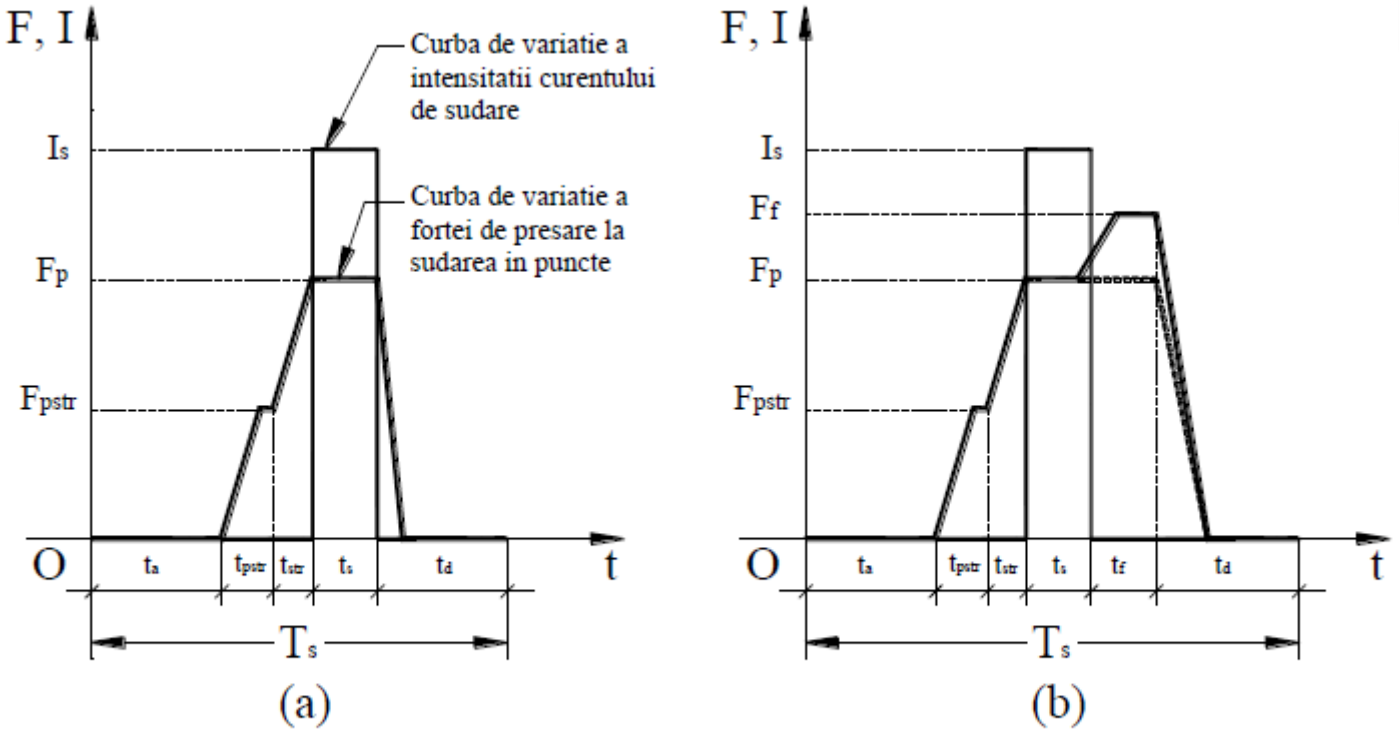


Figura 5.46. Ciclograme de sudare ale unor maşini de sudat în puncte:
(a) – maşina cu pârghii; (b) – maşina cu piston şi temporizare electronică.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Parametrii calitativi. În urma sudării, punctul de sudură obţinut trebuie să prezinte o rezistenţă mecanică bună, astfel încât ruperea unei asemenea îmbinări să se facă în jurul lui, în materialul uneia dintre piese. Principalii parametri calitativi ai sudurii în puncte sunt:

- *aspectul punctelor structurii sudate;*
- *rezistenţa la forfecare a punctului,* τ_f, care se determină prin încercări mecanice pe probe sudate;
- *clasa de calitate a punctului de sudură.* Punctele de sudură pot fi obţinute în trei clase de calitate:

clasa I – puncte cu rezistenţă ridicată, fără amprente ale electrozilor;
clasa II – puncte cu rezistenţă ridicată, dar cu amprente;
clasa III – puncte cu rezistenţă mecanică medie, cu amprente.

Parametrii eficienţei economice. La producţia de serie şi masă, stabilirea parametrilor regimului de sudare în *cazurile indecise* se face pentru ambele criterii (regim moale sau dur), urmând optimizarea acestora prin intermediul parametrilor eficienţei economice, care sunt:

- *productivitatea maşinii de sudare,* P_m, care reprezintă numărul de puncte sudate în unitatea de timp:

$$P_m = \frac{3600}{T_s} \text{ [puncte sudate / oră]}, \qquad (5.50)$$

unde T_s este perioada de sudare a unui punct, corespunzătoare maşinii de sudat;

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

- *energia consumată pentru realizarea unui punct de sudură,* E_p, care are două componente: energia electrică E_e şi energia mecanică E_m (de aplicare a forţei de strângere şi de răcire cu apă a electrozilor), deci:

$$E_p = E_e + E_m \text{ [j]}. \qquad (5.51)$$

Energia consumată depinde de tipul maşinii de sudat în puncte, iar datele necesare calculului se preiau din cartea tehnică a maşinii.

Maşina de sudat în puncte cu acţionare prin pârghii este de tip clasic, *Figura 5.47*. Sudarea se realizează punct cu punct.

Construcţie. Maşina de sudat are în componenţă trei părţi: mecanică, electrică şi hidraulică, fiecare conţinând subansamble specifice.

Partea mecanică a maşinii cuprinde, în principal:

- *batiul*, de construcţie sudată;
- *mecanismul patrulater*, format din pârghiile inferioară, verticală şi superioară, închizându-se prin două articulaţii fixate pe batiu şi două libere;
- *subansamblul electrod-portelectrod-consolă inferioară*, fixat pe batiu;
- *subansamblul electrod-portelectrod-consolă superioară*, fixat la capătul superior al mecanismului patrulater;
- *sistemul elastic*, format dintr-un arc de compresiune şi un arc de revenire;
- *sistemul de măsurare* a forţei F_p, ataşat la capetele arcului de compresiune

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Partea electrică cuprinde:

- *transformatorul monofazat*, puternic coborâtor de tensiune;
- *comutatorul* pentru conectarea la reţeaua electrică cu cablurile electrice aferente;
- *întrerupătorul electric*, legat printr-o tijă cu articulaţie liberă la pârghia inferioară a mecanismului patrulater;
- *sistemul de comutare cu plot* pentru reglarea curentului de sudare;
- *legăturile flexibile* care leagă înfăşurarea secundară a transformatorului la console.

Partea hidraulică cuprinde:

- *racordurile* pentru apa de răcire, legate la console şi portelectrozi;
- *tuburile* pentru realizarea circuitului apei de răcire.

Funcţionare.

Pregătirea maşinii pentru sudare, presupune parcurgerea etapelor:

- verificarea existenţei împământării utilajului;
- verificarea izolaţiei cablurilor de legătură şi a contactelor;
- conectarea întrerupătorului automat de protecţie la reţea;
- conectarea circuitului apei de răcire a electrozilor;
- fixarea treptei de intensitate prin intermediul plotului.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Realizarea sudurii. Pentru executarea unui punct de sudură se parcurg etapele:

- poziţionarea pieselor între electrozi;
- prestrângerea pieselor, care se realizează prin aplicarea forţei F_{pstr} asupra

pedalei. Astfel se pune în funcţiune mecanismul patrulater care determină deplasarea circulară a subansamblului electrod-portelectrod-consolă superioară în jurul articulaţiei superioare fixată pe batiu, realizându-se fixarea pieselor între electrozi. Forţa F_{pstr} este determinată de începutul comprimării arcului de compresiune;

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

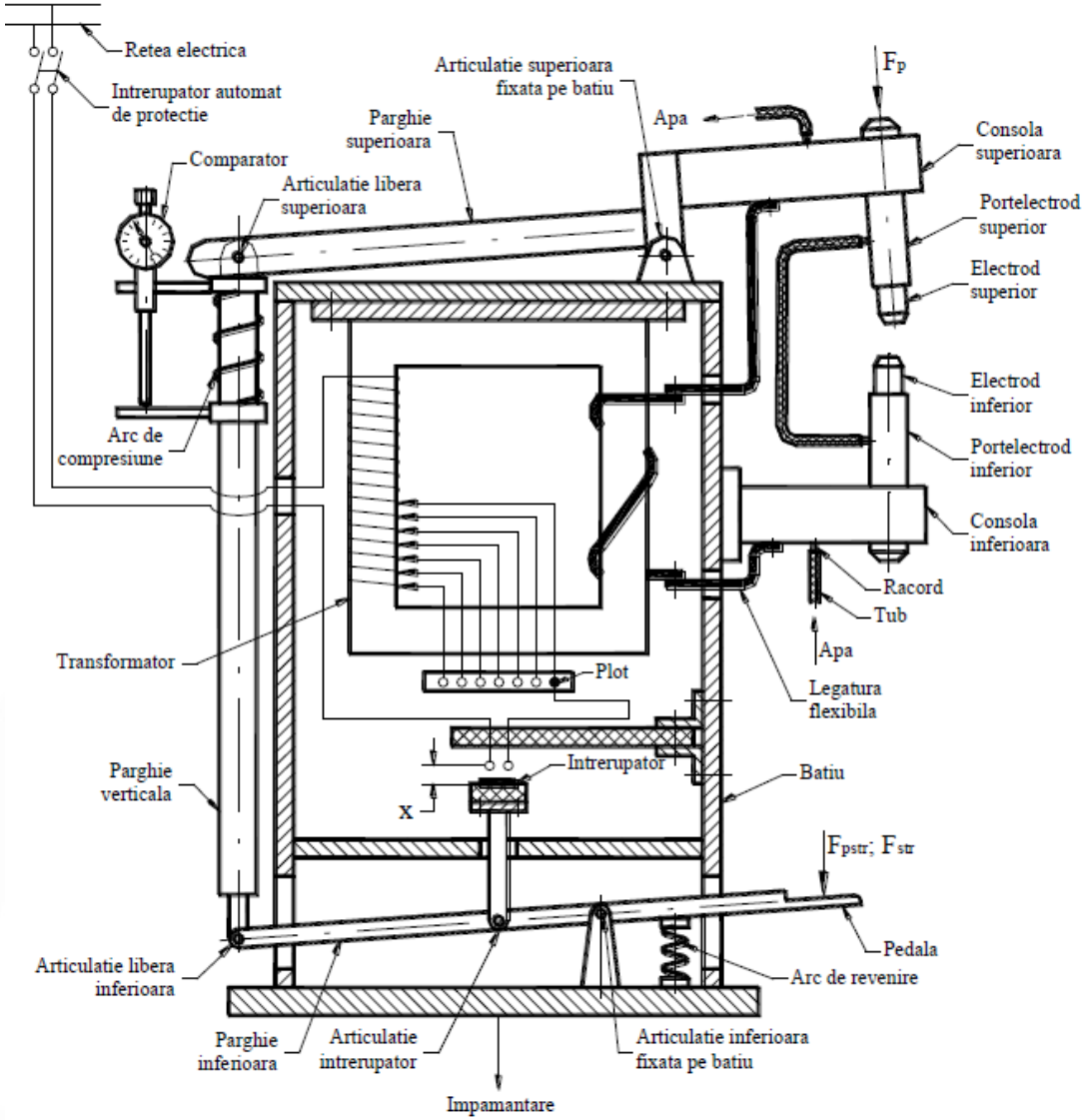


Figura 5.47. Schema constructiv-funcţională a maşinii de sudat în puncte cu acţionare prin pârghii.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

• strângerea pieselor între electrozi şi sudarea se realizează prin creşterea forţei de apăsare a pedalei de la F_{pstr} la F_{str} cunoscută şi fixată indirect prin mărimea comprimării arcului de compresiune dată de comparator. Legătura între indicaţia comparatorului şi F_{str} este prezentată în *Tabelul 5.7*.

Tabelul 5.7. Legătura între deplasarea tijei comparatorului şi F_{str} .

Deplasarea tijei comparatorului [mm]	0	2	4	6	8	10
F_{str} [daN]	60	72	84	96	108	120

La atingerea forţei F_{str} de regim are loc conectarea circuitului electric prin intermediul întrerupătorului de pe maşină ($x = 0$). În acest moment începe sudarea, prin menţinerea forţei F_{str} un timp t_s prestabilit, timp în care se formează punctul de sudură;

• desfacerea pieselor sudate dintre electrozi se realizează prin eliberarea pedalei. Intră în funcţiune arcul de revenire (împreună cu arcul de compresiune) care deplasează sistemul mobil în sens invers. Astfel, are loc deconectarea circuitului electric şi eliberarea pieselor sudate dintre electrozi.

În continuare, pentru executarea altor puncte de sudură se repetă ciclul.

Oprirea maşinii se realizează prin:

- întreruperea circuitului apei de răcire a electrozilor;
- deconectarea întrerupătorului automat de protecţie de la reţea.

Caracteristici tehnice. Principalele caracteristici tehnice ale maşinii de sudat în puncte cu acţionare prin pârghii sunt prezentate în *Tabelul 5.8*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin puncte

Tabelul 5.8. Caracteristici tehnice ale maşinii de sudat în puncte.

Nr. crt.	Caracteristici tehnice	Valori
1.	Puterea nominală	8 kVA
2.	Curentul nominal de sudare	8,5 kA
3.	Grosimea pieselor de sudat	0,3+0,3 ÷ 1,0+1,0 mm
4.	Gama curenţilor de sudare	5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5 kA
5.	Forţa maximă de strângere	120 daN

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea în linie

Pe această cale, electrozii fiind sub formă de role în mişcare relativă şi contact cu metalul de bază se realizează îmbinări rezistente şi continui, *Figura 5.48*.

În procesul de sudare, *tablele 1* se deplasează sub *rolele electrod 2* şi se pot obţine cusături de sudare ca o înşiruire de puncte, ceea ce poate da şi etanşeitate construcţiei sudate. Şi în acest caz sudarea se poate face în două părţi, *Figura 5.48(a)*, sau pe o singură parte *Figura 5.48(b)*.

Ciclogramele procesului de sudare în linie pot fi fără întreruperea curentului, *Figura 5.49(a)*, sau cu întreruperea curentului, *Figura 5.49(b)*. Ciclograma fără întreruperea curentului, se aplică pentru cusături scurte la metale şi aliaje fără tendinţă de creştere a granulaţiei sau de transformări de fază în zona influenţată termic, respectiv la oţelurile cu puţin carbon şi slab aliate.Ciclograma cu întreruperea curentului, se aplică pentru cusături lungi la oţeluri aliate şi aliaje de aluminiu.

Tablele sudabile au grosimi de 0,3÷3 mm şi metoda se foloseşte pentru producţia de masă şi atunci când pe lângă rezistenţa îmbinării, se urmăreşte şi etanşarea construcţiei sudate.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea în linie

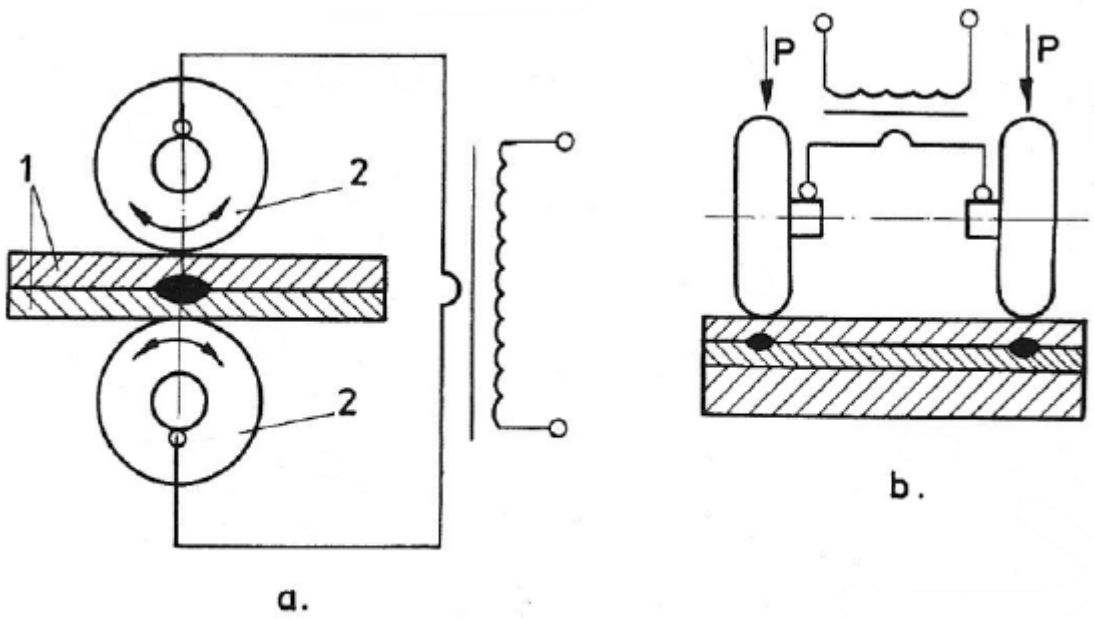


Figura 5.48. Schema sudării în linie:
a – din două părți; b – pe o parte.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea în linie

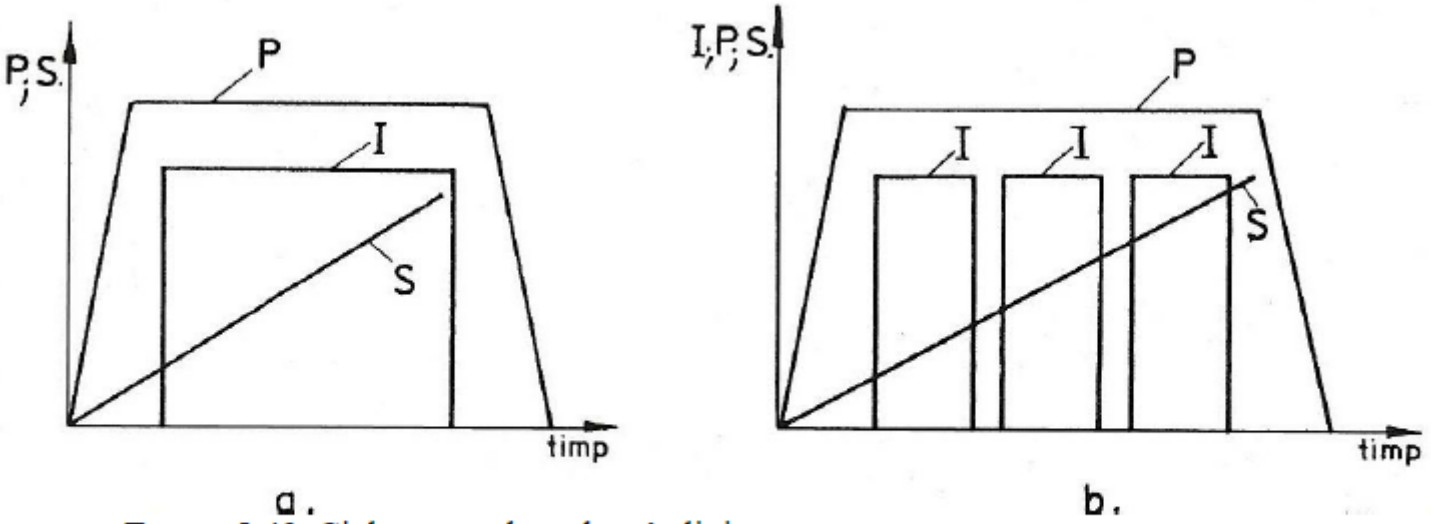


Figura 5.49. Ciclograme de sudare în linie:
a – fără întreruperea curentului; b – cu întreruperea curentului; I – curentul de sudare; P – forţa de presare; S – deplasarea relativă între role şi material.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea cu energie acumulată în condensator

În esenţă, acest procedeu constă în descărcarea bruscă asupra locului îmbinării a unei cantităţi de energie acumulată într-o baterie de condensatori, *Figura 5.50*.

Bateria de condensatori C se încarcă de la sursă cu curent continuu furnizat de *sistemul de redresare D* sau de la un generator, care se descarcă brusc pe electrozii de sudare. *Energia acumulată A* poate fi variată prin variaţia capacităţii sau tensiunii.

$$A = \frac{CU^2}{2}, \qquad (5.52)$$

în care: C este capacitatea condensatorilor;
U – tensiunea la bornele bateriei de condensatori.

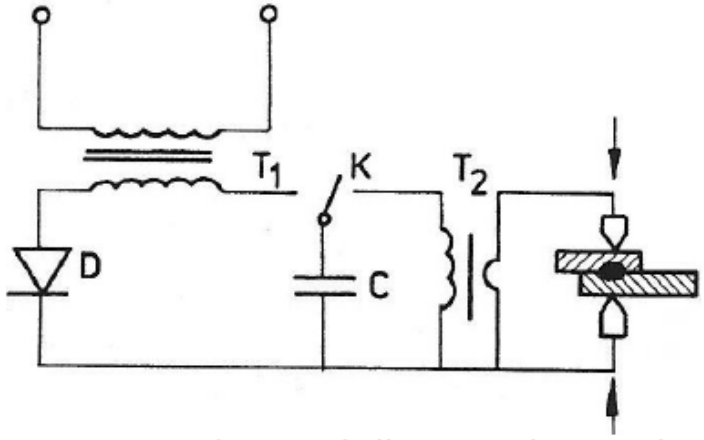


Figura 5.50. Schema sudării cu energie acumulată în condensator:
T_1, T_2 – transformatoare; K – comutator; D – sistem redresor; C – baterie condensatori.

Acest procedeu permite dozarea precisă a energiei, indiferent de variaţia tensiunii pe reţea, timpul scurt de trecere a curentului (la densităţi mari de curent chiar) nu influenţează termic zonele adiacente sudurii şi se pot suda şi table foarte subţiri, până la câţiva microni, iar puterea necesară variază între 0,2 şi 2 KVA.

Instalaţia de sudare poate fi fără transformator (cu descărcarea directă a condensatorilor) sau cu transformator, *Figura 5.50*.

Metoda are aplicabilitate în construcţia de aparate electrice de măsură şi pentru aviaţie, mecanisme de ceas, aparate foto, lămpi electrice etc.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune la rece

Se execută direct asupra materialelor fără să fie încălzite. Fizic, procesul presupune o astfel de apropiere între metalele de sudat, încât să se realizeze legătura metalică între piese. Aceasta presupune exercitarea unor forţe mari de presare asupra locului de îmbinare, când se produce o deformare plastică concentrată şi efectul termic al deformării plastice contribuie la realizarea îmbinării nedemontabile.

Se sudează în puncte, în linie şi cap la cap. Pentru exemplificare, în *Figura 5.51* se prezintă schema sudării în puncte.

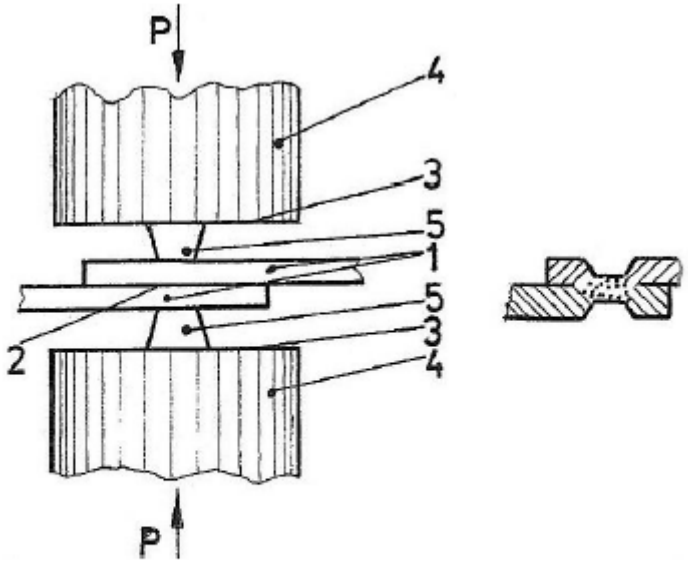


Figura 5.51. Schema sudării prin presiune la rece:
1 – tablele de sudat; 2 – zona de îmbinare; 3 – suprafaţă frontală poanson; 4 – poansoane; 5 – dornuri.

Forma punctului de sudură depinde de forma *dornului 5* şi presarea se face astfel încât *poansonul 4* să nu ia contact cu materialul pe *suprafaţa lor frontală 3*.

Pentru sudarea în linie se folosesc cale speciale. Înainte de sudare, se curăţă bine de arsură (oxizi) suprafeţele de îmbinat.

Prin această metodă se sudează metale şi aliaje cu grosime de 0,2÷15 mm, cu forţe între 150 şi 1000 MPa.

Se pot suda metale de acelaşi fel sau diferite, cu condiţia ca la temperatura ordinară sau de lucru să posede o plasticitate suficientă, în caz contrar se produc fisuri. Metalele şi aliajele de înaltă rezistenţă nu se supun sudării la rece.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin presiune la rece

Exercitarea forţei de presare se poate face pe orice presă (cu excentric, cu fricţiune, hidraulică etc.) ca şi pe instalaţii speciale.

Se sudează bine pe această cale, aluminiul, zincul, cuprul, nichelul, aurul, argintul, plumbul şi alte metale similare ca plasticitate.

Metoda prezintă ca avantaje, consum redus de energie, modificare neînsemnată a proprietăţilor, o mare plasticitate şi posibilităţi de automatizare.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin frecare

Este metoda prin care datorită încălzirii locale prin frecarea suprafeţelor în contact, se atinge uşor starea plastică de forjare, când prin exercitarea unei presări exterioare se realizează îmbinarea nedemontabilă. Frecarea se realizează prin mişcare relativă rotativă sau de dute-vino a pieselor de sudat aflate în contact, *Figura 5.52*.

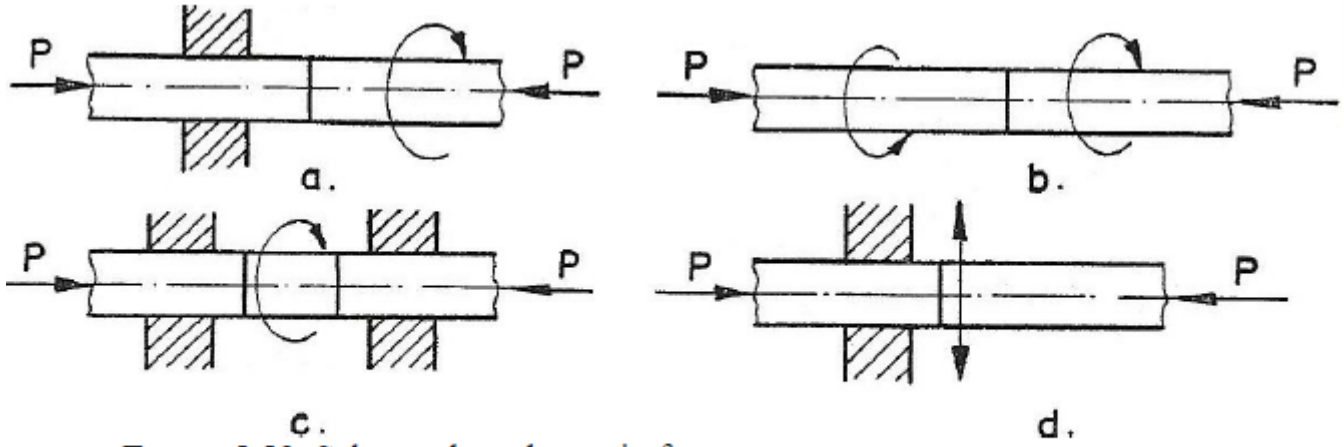


Figura 5.52. Scheme de sudare prin frecare:
a – cu rotirea unui detaliu; b – cu rotirea ambelor detalii; c – cu rotirea unui element intercalat; d – cu mişcare alternativă de translaţie.

Îmbinarea se bazează pe realizarea legăturilor metalice pe suprafeţele în contact. Peliculele de oxid se distrug prin frecare şi se îndepărtează radial prin deformare plastică.

Parametrii regimului de sudare sunt viteza mişcării relative dintre piese, durata de încălzire prin frecare, forţa de apăsare, gradul de deformare plastică (refulare). Căldura necesară se obţine combinând viteza de mişcare cu forţa de apăsare.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin frecare

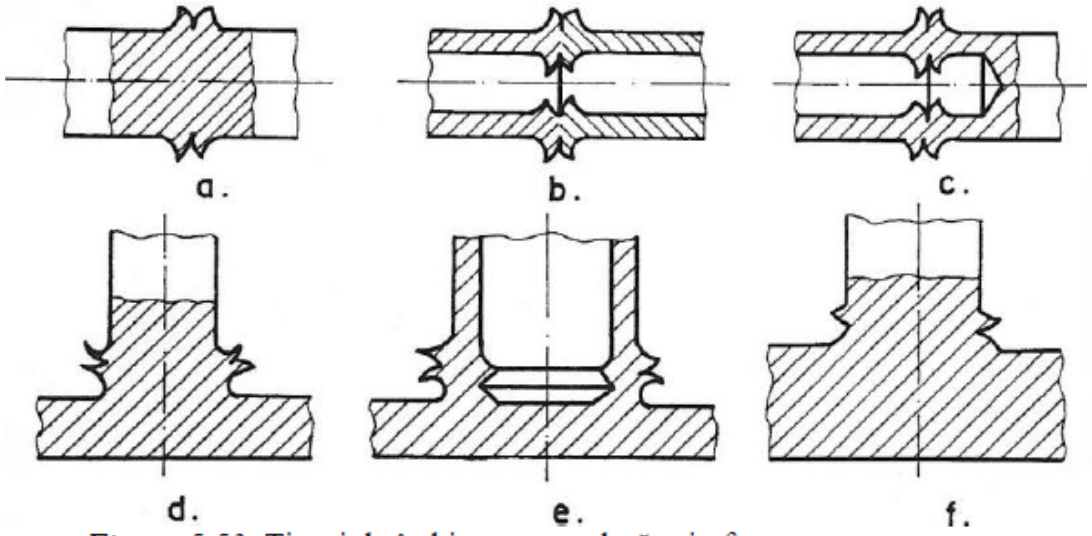


Figura 5.53. Tipuri de îmbinare cu sudură prin frecare:
a – sudare de tije pline; b – sudare de ţevi; c – ţeavă cu tijă;
d – tijă cu placă; e – ţeavă cu placă; f – tijă cu piesă masivă.

O îmbinare de calitate reclamă întreruperea bruscă a frecării şi exercitarea rapidă a forţei de forjare.

Parametrii regimului de sudare depind de proprietăţile metalului, mărimea secţiunii şi configuraţia produsului.

Se pot suda materiale diferite, cupru cu oţel, aluminiu cu titan etc. Îmbinările rezultă cu o rezistenţă mecanică satisfăcătoare. Se utilizează în industrie pentru sudarea oţelurilor de scule, a unor arbori, poansoane, piston-tijă.

Prin această metodă se reduce consumul de energie de 5÷10 ori. Aspectul îmbinării pentru diverse tipuri de piese se vede în *Figura 5.53*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea cu ultrasunete

Sudarea cu ultrasunete este un proces în care se interferează presiunea, încălzirea şi frecarea reciprocă a suprafeţelor de sudat. Forţele de frecare iau naştere ca rezultat al acţiunii simultane a presiunii şi oscilaţiilor mecanice provocate de frecvenţa ultrasunetelor.

În general, pentru obţinerea oscilaţiilor mecanice de înaltă frecvenţă se foloseşte efectul de magnetostricţiune, bazat la rându-i pe variaţia dimensiunilor câtorva materiale sub acţiunea câmpului magnetic variabil.

Pe de altă parte, această variaţie a dimensiunilor este de mică intensitate şi pentru creşterea amplitudinii, concentrarea energiei de oscilaţie şi transmiterii oscilaţiilor mecanice la locul de sudare, se folosesc scule specializate (sonotron), în majoritatea cazurilor de formă îngustă, gâtuită, *Figura 5.54*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea cu ultrasunete

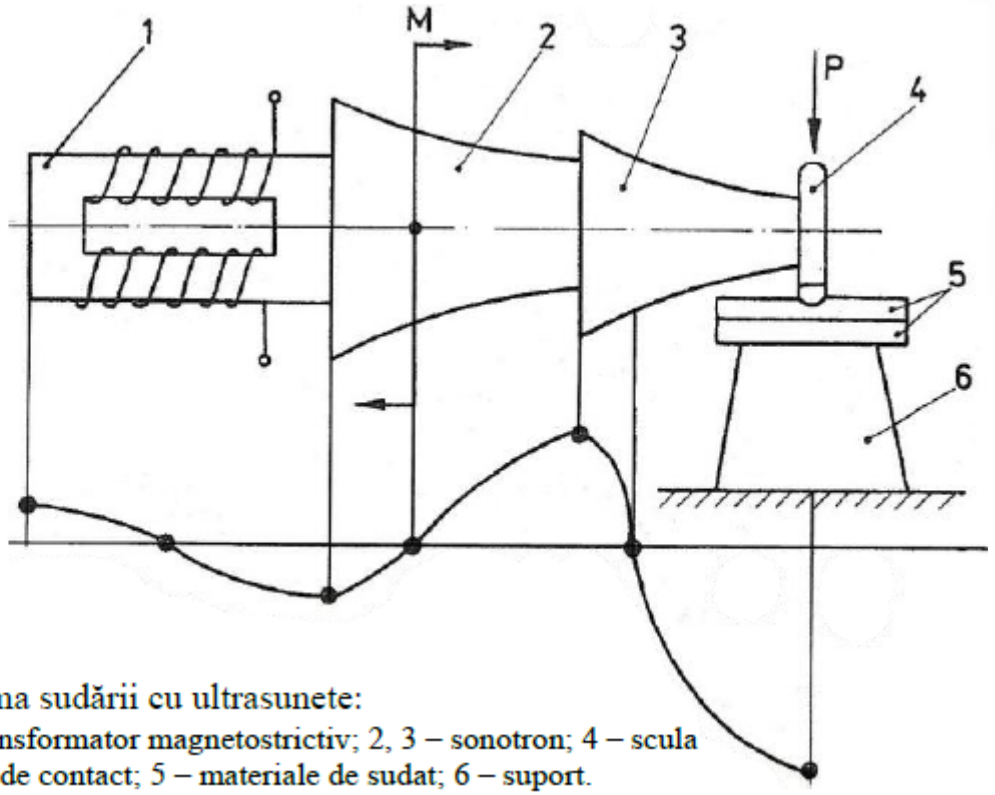


Figura 5.54. Schema sudării cu ultrasunete:
1 – transformator magnetostrictiv; 2, 3 – sonotron; 4 – scula activă de contact; 5 – materiale de sudat; 6 – suport.

Astfel, sudarea cu ultrasunete presupune *semifabricatele 5* aşezate pe *masa suport 6*. *Scula de lucru 4* este solidară cu *prelungitorul 3* la rându-i solidar cu *transformatorul magnetostrictiv 1* prin intermediul *transformatorului 2*, care împreună dau *sonotronul*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea cu ultrasunete

Forţa de compresiune (forjare) *P* este creată de *momentul M* în nodul oscilaţiei. Ca rezultat a oscilaţiilor cu ultrasunete, în straturi subţiri ale suprafeţelor de contact iau naştere deformaţii de alunecare care distrug peliculele de suprafaţă. Straturile superficiale de metal se încălzesc, metalul se înmoaie şi sub acţiunea *forţei P* se produce deformarea plastică a metalului. Dacă se ajunge la o apropiere între materiale la o distanţă mai mică decât cea interatomică, atunci se creează legături metalice şi se formează astfel îmbinarea nedemontabilă. Acţiunea de efect termic nefiind de mare anvergură, modificările structurale şi ale proprietăţilor mecanice sunt neglijabile.

De exemplu, la sudarea cuprului temperatura zonei de sudare nu depăşeşte 600°C, iar a aluminiului nu trece de 200÷300°C şi acest efect este deosebit de important la sudarea unor metale active din punct de vedere chimic.

Prin această metodă se pot executa suduri în puncte şi în linie şi după contur închis. De asemenea, se pot suda semifabricate cu grosime până la 1 mm şi foarte subţiri până la 0,001 mm, ca şi sudarea unor table subţiri şi folii de piese nelimitate ca grosime. Se pot suda metale diferite, de exemplu, cupru cu aluminiu, cupru cu oţel etc. şi mase plastice, ultimele numai cu oscilaţii transversale. Metoda se aplică în electronică, aparatură fină şi aviaţie.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin explozie

Datorită presiunilor ridicate şi a vitezei mari de apropiere a pieselor de îmbinat, sudarea poate să fie ori de topire în anumite zone, ori chiar la rece.

Majoritatea tehnologiilor de sudură pe această cale folosesc energia cumulată a exploziei, *Figura 5.55*.

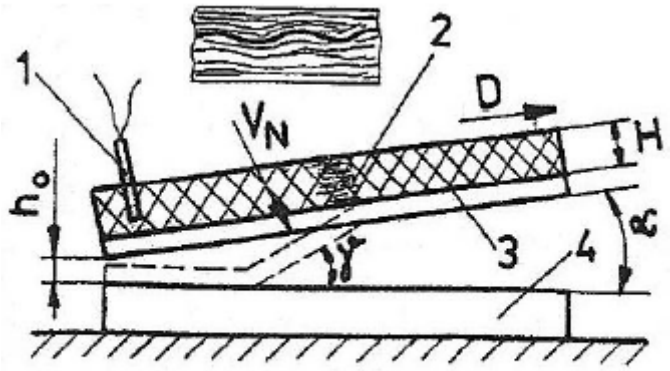


Figura 5.55. Schema sudării prin explozie:
D – detonaţia; V_N – viteză normală.

Cele două *plăci 3* şi *4* se aşează sub un *unghi* α şi la *distanţa* h_0. Pe *semifabricatul deplasabil 3* se încarcă *substanţa explozivă 2* de *grosime H* care se amorsează cu *capsa detonatoare 1*. Presiunea ce se naşte prin explozie transmite un puternic impuls, datorită degajării mari de gaze şi căldură când detonaţia atinge viteze de câteva mii de metri pe secundă. În proces ia naştere *unghiul* γ care se transmite de-a lungul întregului material. Durata procesului nu depăşeşte câteva microsecunde, timp insuficient pentru desfăşurarea fenomenelor de difuzie şi prin urmare, nu poate asigura îmbinarea de metale şi aliaje de naturi diferite pe bază de compuşi intermediari.

Pe de altă parte, rezistenţa îmbinării este superioară celei a metalului de bază, încercarea de rupere arătând că ruperea materialului se produce la distanţe oarecare de locul îmbinării. Acest efect nu se explică decât prin puternica ecruisare prin deformare plastică a straturilor în contact.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin explozie

Parametrii procesului de sudare prin explozie sunt, *viteza de detonaţie D*, *viteza normală* V_N de apropiere şi impact a materialelor şi *unghiul* γ la impact.

Viteza detonaţiei D, este determinată de natura explozibilului şi grosimea stratului de explozibil H şi trebuie astfel corelată încât să nu dea naştere undei de şoc ce poate să distrugă metalul.

Metoda serveşte pentru obţinerea unor semifabricate bimetal, la placarea unor suprafeţe, la îmbinarea unor metale diferite.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin difuzie

În acest procedeu, îmbinarea se bazează pe formarea prin difuzie reciprocă a unui strat intermediar între metalele în contact, tot procesul desfăşurându-se cu păstrarea stării solide a metalului de bază. Temperatura de sudare este ceva mai sus sau mai jos de temperatura de recristalizare a metalului cu cel mai scăzut punct de fuziune din îmbinare. De asemenea, sudarea prin difuzie cere atmosferă vidată sau de gaze protectoare. O instalaţie de sudare, schematic, se prezintă în *Figura 5.56*.

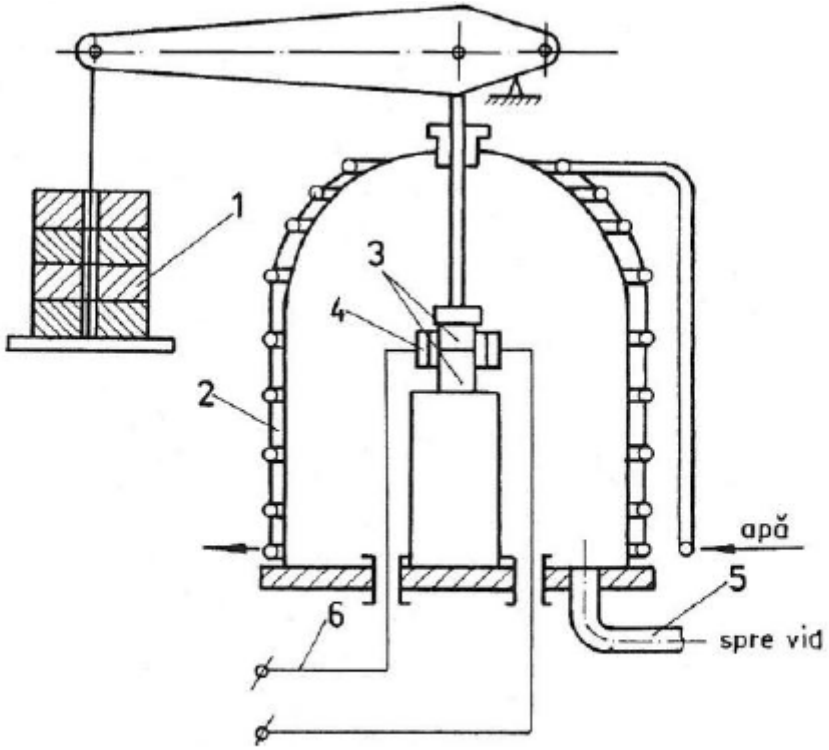


Figura 5.56. Schema sudării prin difuzie în vid:
1 – contragreutăţi; 2 – cameră metalică răcită; 3 – piesele de sudat;
4 – inductor; 5 – vacuum; 6 – alimentare de la generatorul de curent.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Sudarea prin difuzie

Piesele de sudat *3* se aşează în interiorul unei camere metalice *2* răcită cu apă şi racordată la pompa de vid (10^{-3}÷10^{-4} Pa).

După ce s-a atins temperatura de sudare, asupra pachetului de piese se exercită printr-un sistem mecanic 1 (sau hidraulic) o presiune de 1÷20 MPa timp de 5÷20 minute.

O sudură de calitate reclamă o încălzire cât mai uniformă şi suprafeţele în contact să fie cât mai bine curăţite de oxizi. La încălzirea în vid peliculele adsorbante şi de ulei se evaporă şi favorizează realizarea îmbinării.

Metoda sudează materiale de acelaşi fel, dar şi diferite, indiferent de natura lor, de duritate, fragilitate etc. şi nu influenţează structura de bază.

Această sudură se foloseşte pentru tehnica cosmică, radiotehnică, în aviaţie şi aparatură, industria alimentară etc.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Metode de încărcare a suprafeţelor

In principal, se folosesc industrial încărcarea prin sudare şi metalizarea.

Încărcarea prin sudare. Este procesul prin care pe suprafaţa unor piese metalice se încarcă un alt strat de metal de o anumită compoziţie şi în diverse scopuri, mai ales pentru rezistenţă la uzare şi la temperatură. De asemenea, metoda este eficace pentru reparaţii. Masa stratului încărcat nu depăşeşte câteva procente din masa pieselor de fabricat.

Topirea metalului de bază, ca şi amestecarea metalului de bază cu cel de încărcare trebuie să fie minimă, pentru păstrarea proprietăţilor mecanice a straturilor de acoperire.

Ca materiale de încărcare, sub formă de electrozi, se întâlnesc astăzi foarte multe: oţeluri (carbon şi aliate); aliaje pe bază de fier (fonte cu conţinut ridicat de crom, aliaje cu bor, cu crom, cu cobalt, molibden sau wolfram); aliaje pe bază de nichel şi cobalt; aliaje pe bază de cupru; aliaje cu carburi de crom şi wolfram.

Ca procedeu, cel mai simplu, este sudarea manuală de încărcare cu electrod metalic, care se face cu arc scurt la un curent minim.

Pentru creşterea productivităţii se foloseşte un fascicul de electrozi sau sudarea în curent trifazic.

Eficientă este şi încărcarea prin sudare sub strat de flux, când baia de zgură şi metal sunt substanţiale sau sudarea cu arce multiple, de regulă lucrându-se cu fascicul de sârme electrod.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Metode de încărcare a suprafeţelor

Încărcarea prin sudare în baie de zgură se foloseşte atunci când cantitatea de metal încărcată trebuie să fie mare, respectiv nu mai mic stratul de 20 mm, când se obţine un metal depus compact, fără pori şi fisuri.

Încărcarea prin topire cu curenţi de înaltă frecvenţă se face topind fie un strat de pulberi, fie de pastile, granule etc.

Încărcarea prin sudare cu electrod infuzibil de wolfram sub atmosferă de gaze protectoare (argon) foloseşte pentru încărcare sârme de adaos din nichel şi cobalt şi asigură topire neglijabilă a suportului (piesei) şi depunere de straturi subţiri.

Există şi alte metode de acoperire sau încărcare, folosind jetul de plasmă, flacăra de gaz, metoda MIG, electrozi speciali din pulberi şi lamelari, dar performanţele sunt inferioare metodelor anterior tratate, din punct de vedere al topirii neglijabile a metalului de bază şi al
amestecării nesemnificative a metalului de bază cu cel de încărcare.

Metalizarea. Constă în depunerea unor straturi de acoperire pe suprafaţa unor piese prin pulverizarea unui metal lichid, sedimentare şi solidificare.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Metode de încărcare a suprafeţelor

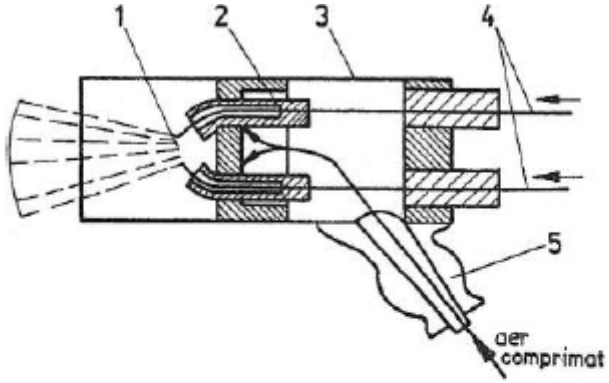


Figura 5.57. Schema metalizării prin pulverizare în arc:
1 – arc electric-jet; 2 – ajutaj; 3 – corp;
4 – electrozi; 5 – mâner.

Procesul de metalizare constă în avansul sârmei metalice în sursa de topire, iar metalul lichid sub presiunea unui gaz insuflat se transformă într-un jet de picături care aderă la suprafaţa piesei şi se solidarizează cu aceasta formând stratul de acoperire.

În funcţie de tipul sursei termice, se deosebesc: cu arc; cu gaze; cu plasmă şi curenţi de înaltă frecvenţă.

Astfel, pentru metalizarea prin arc se folosesc pistolete speciale, *Figura 5.57.*

Prin două ajutaje *2* prin care trece curentul de sudare avansează sârmele de adaos. În punctul *1* se formează arcul şi prin insuflarea aerului comprimat, jetul de picături fine de metal lichid aruncate cu putere pe suprafaţa de acoperit.

Pentru acoperire se folosesc sârme de cupru, aluminiu, oţel, zinc, dar şi nemetalice sub formă de pulbere (sticlă, email, masă plastică).

Stratul de metalizare alcătuit din picături oxidate are o rezistenţă şi densitate mai mică, comparativ cu stratul de încărcare prin sudare.

Metalizarea se aplică pentru acoperirea de uzură, la coroziune, în scop decorativ pentru cisterne, poduri, părţi de uzură la arbori, organe de maşini, costume de protecţie etc.

Avantaje. Piesa nu se încălzeşte peste 400 K şi nu se provoacă modificări structurale importante, se pot realiza pelicule cu grosimi variabile, timpul scurt al operaţiunii, se pot obţine pelicule din orice material metalic, preţul mai scăzut.

Dezavantaje. Rezistenţă slabă la încovoiere şi tracţiune a peliculei, rezilienţă redusă, piesele metalizate nu se pot prelucra în continuare prin deformare plastică, necesită măsuri speciale de protecţia muncii.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Placarea metalelor

Este metoda tehnologică de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe materiale metalice în formă de straturi, prin intermediul forţelor de coeziune şi tensiune superficială.

Piesa placată se comportă atât la rece cât şi la cald ca un singur obiect. Dacă stratul metalizat nu depăşeşte 2÷3% din grosimea totală a piesei, la placare acest strat merge peste 8÷10% şi poate ajunge chiar 50%.

Placarea poate fi bistrat sau multistrat (până la 15 straturi), din materiale metalice de naturi diverse. Pe suprafeţele de placare se execută operaţii de curăţire, decapare.

Dintre procedeele de placare se deosebesc: placarea prin turnare; placarea prin deformare plastică; placarea prin sudare, lipire, difuzie, explozie; placarea prin metalurgia pulberilor; placarea complexă.

La **metoda prin turnare**, piesa de placat se preîncălzeşte (la oţel 1100÷1300 K) peste care se toarnă metalul lichid de placare, după solidificare metalul aderă şi se solidarizează prin difuzie. De exemplu, placarea cuzineţilor, fabricarea de cilindri bimetal pentru motoare cu ardere internă, *Figura 5.58*.

SUDAREA PRIN PRESIUNE
Placarea metalelor

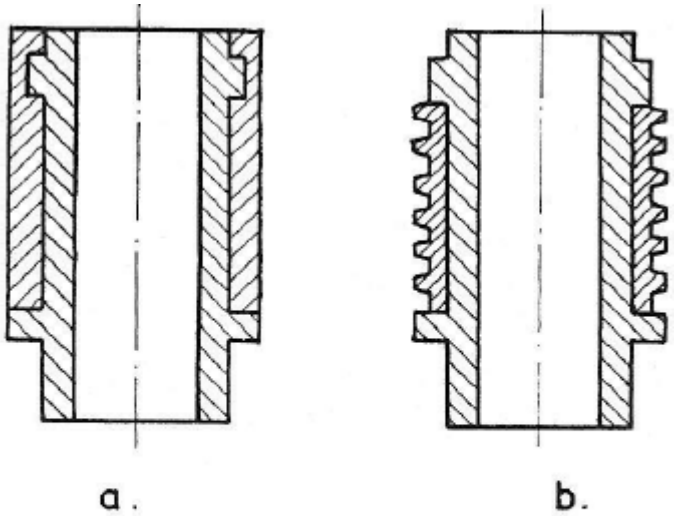


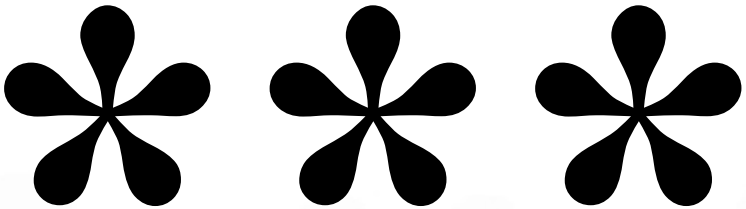
Figura 5.58. Cilindru bimetal fontă - aliaj de aluminiu:
a – cilindru bimetal brut;
b – cilindru prelucrat prin aşchiere.

Placarea prin deformare plastică, se realizează prin presarea suprafeţelor de prelucrat în aşa fel încât să se realizeze aderenţa celor două materiale, la baza placării fiind deformarea plastică realizabilă prin laminare, extrudare, tragere, matriţare etc. Pentru aceasta se toarnă lingouri compuse care se supun laminării sau se realizează pachete (oţel-oţel, oţel-aluminiu, oţel-nichel, cupru-alamă, oţel-aluminiu-oţel etc.) care se supun laminării, obţinându-se semifabricate stratificate. La fel se procedează şi prin tragere, se trage de fapt ţeava brută turnată bimetal şi mai rar ţeavă în ţeavă.

Placarea prin sudare, a fost tratată la sudarea de încărcare.

Placarea prin explozie a fost prezentată la sudarea prin explozie.

Aplicarea metalizării prin placare, se referă la fabricarea de bimetale cu placări parţiale pentru scule şi anume, benzi bimetal pentru contacte electrice, bare de sârmă bimetal pentru telecomunicaţii, benzi şi bare placate pentru instalaţii chimice, energetice, profile bimetal cu destinaţie specială.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE

- Sudabilitatea metalelor şi aliajelor
- Sudarea oţelurilor carbon şi aliate
- Sudarea oţelurilor înalt aliate rezistente la coroziune
- Sudarea fontelor
- Sudarea cuprului şi aliajelor sale
- Sudarea aluminiului şi aliajelor sale
- Sudarea metalelor şi aliajelor greu fuzibile

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE

Sudabilitatea metalelor şi aliajelor

O serie de oţeluri şi metale neferoase sau greu fuzibile posedă o slabă sudabilitate, datorită modificării proprietăţilor fizico-mecanice, în zona îmbinării sudate comparativ cu metalul de bază şi datorită formării de pori şi fisuri.

Rezistenţa şi duritatea cordonului de sudură este de regulă inferioară metalului de bază, aceasta datorită unei mai slabe alieri a elementelor în metalul cusăturii faţă de metalul de bază. De asemenea, structura granulară grosolană, ca şi conţinutul de gaze scad şi plasticitatea îmbinării sudate.

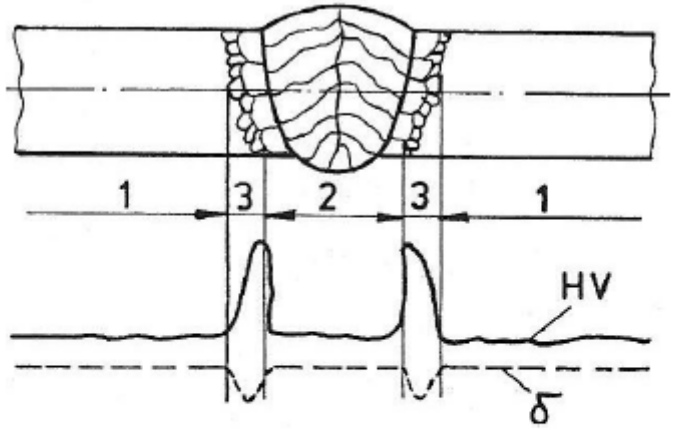


Figura 5.59. Variaţia unor proprietăţi mecanice în zona de sudare pe un oţel aliat: 1 – metal de bază; 2 – metal depus; 3 – zona influenţată termic; HV – duritatea; δ – alungirea relativă.

De mare importanţă este la îmbinarea prin sudare aşa numita zonă influenţată termic (*ZIT*), *Figura 5.59*. Această zonă se plasează în metalul de bază, în care temperatura este capabilă de modificări structurale, respectiv: creşterea granulaţiei; topiri de margine de grăunte; structuri de călire. Ca urmare a acestor modificări, este posibil să crească duritatea şi să scadă plasticitatea.

Pentru metale cu sudabilitate scăzută, în cusătură pot să apară fisuri la rece şi la cald, *Figura 5.60*. Cauza fisurilor este scăderea rezistenţei şi plasticităţii, atât în procesul de constituire prin cristalizare a îmbinării sudate cât şi ulterior datorită transformărilor polimorfe şi absorbţiei de gaze, când dezvoltarea stării de tensiuni şi deformaţii prin depăşirea rezistenţei şi plasticităţii metalului provoacă acestuia fisuri, *Figura 5.61*.

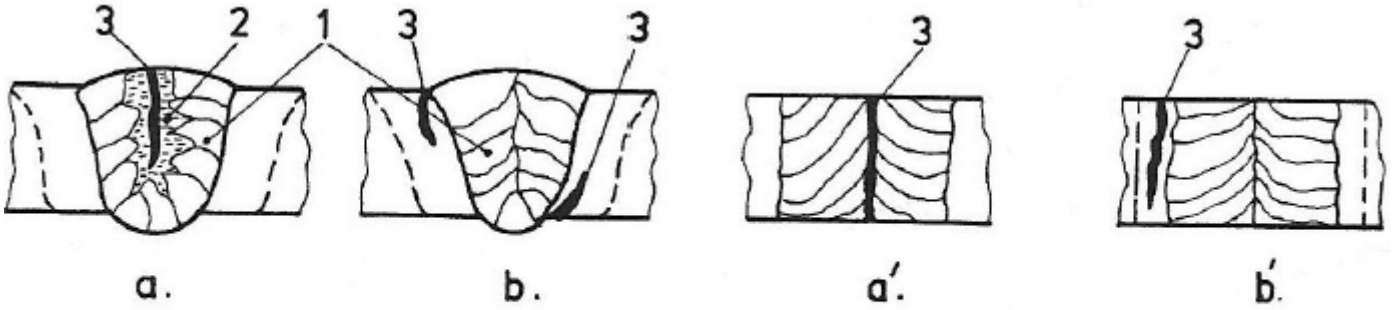


Figura 5.60. Tipuri de fisuri în îmbinări sudate:
a – transversal şi a' în poziţie orizontală – fisuri la cald;
b – transversal şi b' în poziţie orizontală – fisuri la rece;
1 – cristale dendritice; 2 – strat lichid matcă; 3 – fisuri.

Mecanismul formării tensiunilor în îmbinări sudate, fără aportul unor forţe exterioare se poate explica în baza raţionamentului, conform căruia, ca urmare a încălzirii neuniforme a semifabricatelor la sudare, *Figura 5.61(a)*, deformaţiile termice ale cusăturii şi zonei *ZIT* sunt frânate de zonele reci ale metalului de bază.

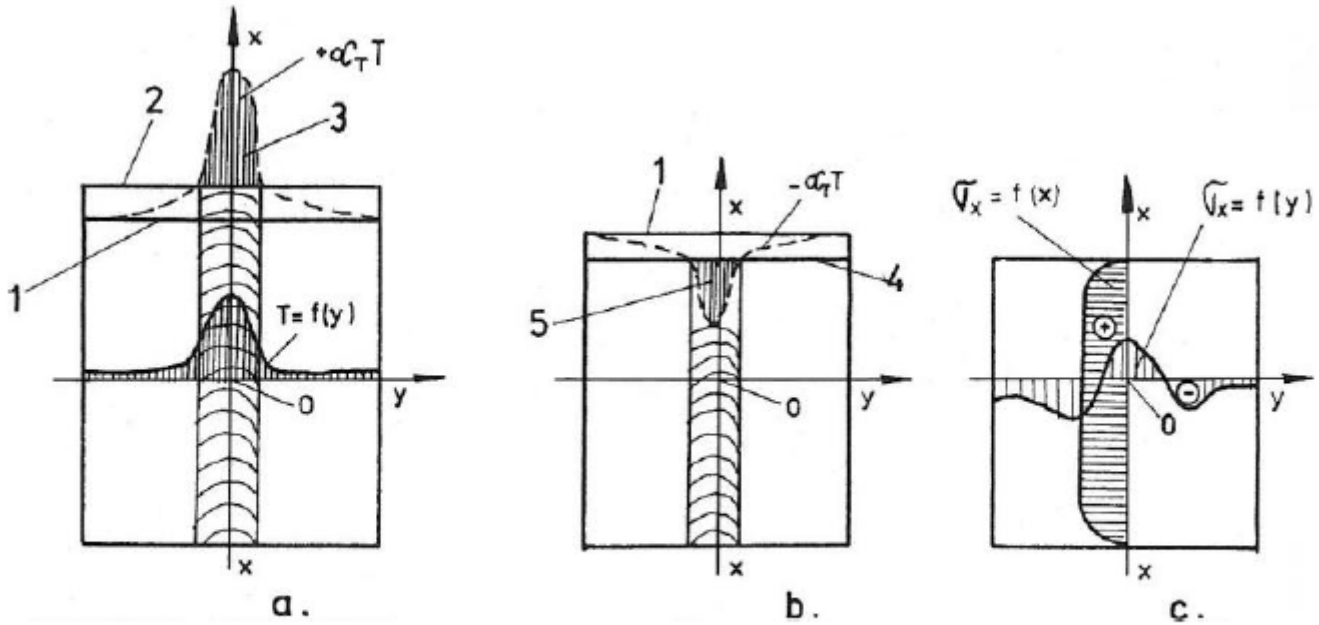


Figura 5.61. Schema procesului de apariţie a tensiunilor la sudarea unor plăci cap la cap:
T=f(y) – variaţia temperaturii pe axa Oy; σ_x=f(x) – distribuţia tensiunilor pe axa Ox;
σ_y=f(y) – distribuţia tensiunilor pe axa Oy; α_T – coeficient de dilatare termică.

În procesul de sudare, prin încălzire, *suprafaţa 1* datorită dilatărilor se deplasează în *poziţia 2*, dar această deplasare proprie cusăturii şi zonei *ZIT* este împiedicată de restul de metal rece şi prin urmare, se vor naşte deformaţii de compresiune proporţionale cu *zona* haşurată *3*. La răcire, se produce fenomenul invers, de contracţie, obţinându-se o scurtare, respectiv, *Figura 5.61(b)*, suprafaţa *1* ocupă *poziţia 4*, când în metalul cusăturii şi zona *ZIT* iau naştere deformaţii elesto-plastice de tracţiune, proporţionale cu *zona* haşurată *5*. Astfel, deformaţiile de tracţiune din cusătură şi zona *ZIT* se echilibrează cu deformaţiile de compresiune din metalul de bază, *Figura 5.61(c)*.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudabilitatea metalelor şi aliajelor

Deformaţia exterioară a semifabricatelor sudate (de exemplu, scurtarea din *Figura 5.61(b)*) nu se suprapune perfect cu deformaţiile elesto-plastice ulterioare, ba mai mult, aceste deformaţii sunt de sens opus. Cu cât mai mari vor fi deformaţiile exterioare, cu atât mai mici vor fi deformaţiile interioare. Mărimea şi sensul tensiunilor în sudură sunt determinate de deformaţiile interioare.

Atenuarea deformaţiilor şi tensiunilor interioare este de mare importanţă în ce priveşte prevenirea fisurilor. În acest sens, se recomandă ca metalul de bază să nu împiedice cusătura în zona *ZIT* în procesul de sudare, geometria semifabricatelor să nu fie rigidă şi pentru uniformizarea termică să se aplice preîncălzirea metalului de bază. În ultimă instanţă, eliminarea tensiunilor se face şi prin tratament după sudare (recoacere de detensionare sau recoacere superioară) şi de asemenea, trebuie dată o mare atenţie şi deformaţiilor inverse.

Crăpăturile la cald, se formează în timpul cristalizării primare a cusăturii, când metalul se găseşte în stare bifazică (solid + lichid), când metalul are rezistenţă şi plasticitate redusă. De regulă, crăpăturile la cald se formează pe axa cusăturii la îmbinarea celor două fronturi ale structurii dendritice, în zona de desăvârşire a cristalizării. Tendinţa de fisurare, creşte cu conţinutul de impurităţi din metalul depus, care dau naştere la eutectici sau combinaţii uşor fuzibile. Fenomenul fisurării la cald este cu atât mai posibil cu cât intervalul termic de solidificare a metalului cusăturii este mai mare, *Figura 5.60(a, a')*.

Crăpăturile la rece, adesea apar în zona *ZIT*, în procesul de răcire finală sau după un timp de depozitare a construcţiei sudate, *Figura 5.60(b, b')*. Aceste crăpături apar ca urmare a zonelor de autocălire, a creşterii exagerate a granulaţiei, a absorbţiei de gaze şi în mod deosebit de hidrogen, ceea ce conduce la creşterea fragilităţii materialului.

Porii în cusătura sudată, se formează ca urmare a scăderii solubilităţii gazelor cu scăderea temperaturii, la răcirea sudurii în procesul de cristalizare primară. Cauzele porilor rezidă deci în absorbţia de gaze în metalul lichid datorită umidităţii învelişului de electrod, a fluxurilor, gazelor de protecţie (hidrogen), dar şi azotului şi oxigenului (oxidului de carbon), ca şi a răcirii rapide care nu permite evacuarea în atmosferă a gazelor din baia lichidă.

În general, sudabilitatea metalelor şi aliajelor este condiţionată de mai mulţi factori: compoziţia chimică şi tehnologiile de prelucrare anterioare; modul în care se realizează sudarea – concepţia îmbinării sudate, soluţiile constructive adoptate şi execuţia propriu-zisă.

Pentru aprecierea sudabilităţii nu există o metodă cantitativă ştiinţifică, pentru fiecare categorie de materiale existând prescripţii şi criterii de apreciere care diferă de la ţară la ţară.

Pentru determinarea sudabilităţii se fac încercări laborioase asupra metalului de bază, asupra zonei de trecere, asupra sudurii propriu-zise şi asupra îmbinării sudate. Dintre acestea, o evaluare aproximativă a sudabilităţii se face prin încercarea durităţii sub cordon.

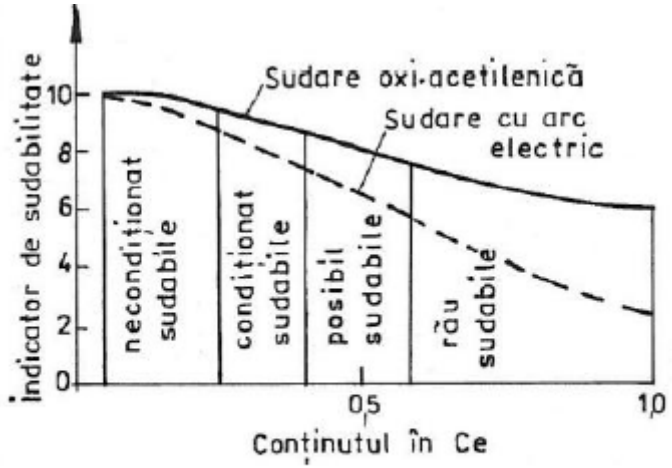


Figura 5.62. Sudabilitatea oţelurilor în funcţie de carbonul echivalent.

Cea mai mare influenţă asupra sudabilităţii oţelurilor carbon şi slab aliate de construcţie o manifestă procentul de carbon sau carbon echivalent, cu creşterea căruia creşte tendinţa de călire la sudare şi deci creşte pericolul de fisurare.

În general, oţelurile cu până la 0,25% C sunt considerate cele mai sudabile (necondiţionat sudabile). Sudabilitatea în funcţie de procentul de carbon sau carbon echivalent împarte oţelurile în mai multe grupe, *Figura 5.62*.

Carbonul echivalent (C_e) se determină conform STAS 7194-79, cu relaţia:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0{,}0024 \cdot S\,, \qquad (5.53)$$

în care S este grosimea tablelor sudate, în mm.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea oţelurilor carbon şi aliate

La oţelurile cu peste 0,3% C, apare tendinţa de călire, durificare şi fisurare şi prin urmare sudarea trebuie abordată cu precauţie. Astfel, sudarea unor oţeluri cu peste 0,5% C reclamă măsuri speciale: preîncălzirea metalului de bază; folosirea metalului de adaos cu plasticitate ridicată; sudarea simultană cu două sau trei arce.

În cazul sudării oţelurilor cu rezistenţă ridicată, dacă C < 0,22%, C_e < 0,41% şi grosimea tablei S < 37 mm, nu sunt necesare, în general, măsuri speciale. În caz contrar, se apelează la preîncălzirea metalului de bază şi alegerea electrozilor cu conţinut redus de hidrogen.

Referindu-ne la procedeul de sudare cu arc electric, sudarea oţelurilor carbon şi aliate de construcţie reclamă, în ansamblu, următoarele măsuri tehnologice:

- preîncălzirea prealabilă şi după sudare pentru a preveni prin răcire încetă pericolul călirii în zona ZIT la o temperatură de 100÷300°C;
- calcinarea fluxurilor la 400÷450°C timp de 3 ore şi uscarea gazelor atmosferei de protecţie pentru a preîntâmpina pătrunderea hidrogenului în metalul îmbinării sudate;
- recoacerea la 300÷400°C sau la 600÷700°C a îmbinărilor sudate, după terminarea sudării, în scopul creşterii plasticităţii şi îndepărtării hidrogenului.

Sudarea în puncte a acestor oţeluri se face cu regimuri moi, respectiv o durată lungă de încălzire, cu îndepărtarea rapidă din maşină pentru a elimina supraîncălzirea electrozilor.

Sudarea prin presiune cap la cap se face cu topire parţială, când se asigură preîncălzirea semifabricatelor înainte de sudare şi răcirea lentă după îmbinare.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE

Sudarea oţelurilor înalt aliate rezistente la coroziune

Rezistenţa la coroziune a oţelurilor se asigură printr-un conţinut de Cr de peste 12%, de Ni de peste 8%, care stabilizează structura austenitică şi o păstrează la temperatura ordinară. La sudarea acestor oţeluri, chiar dacă se asigură stabilitatea, este posibilă pierderea rezistenţei la coroziune a cusăturii şi în zona *ZIT*. Cauza constă în formarea de carburi de crom pe graniţele grăunţilor şi sărăcirea în crom a marginii de grăunte şi metalul îmbinării sudate capătă tendinţă de coroziune intercristalină.

La sudarea cu arc electric, pentru a preveni acest efect periculos, se recomandă sudarea cu energii liniare mici, cu utilizarea unor plăci de cupru răcitoare, pentru cicluri termice riguroase şi scurtării timpului de menţinere a metalului la temperatură. De asemenea, se aplică şi tratament de călire pentru punere în soluţie (încălzire la 1100°C şi călire în apă), fixându-se din nou structura austenitică.

La sudarea oţelurilor austenitice se pot forma şi crăpături, datorită intervalului mare de cristalizare ca urmare a creşterii conţinutului în elemente de aliere şi creşterii impurităţilor de sulf. Crăpăturile sunt cauzate şi de macrostructura dendritică a cusăturii, în zona desăvârşirii cristalizării primare.

Pentru preîntâmpinarea crăpăturilor, se folosesc electrozi, sârme de metal de adaos, cu elemente de aliere ca Si, Al, Mo, Mn etc. care favorizează fărâmiţarea structurii şi reduce conţinutul de impurităţi.

Oţelurile austenitice se sudează foarte bine prin presiune şi contact cu densităţi reduse de curent. Aceasta este posibil, datorită termofizicii greoaie, care concentrează foarte bine căldura la locul de îmbinare. Totuşi, sudarea reclamă forţe de presare mari, datorită ecruisării austenitei ca şi rezistenţei ridicate a acestor oţeluri la temperaturi ridicate.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea fontelor

Prin procentul de carbon, de la început, fontele fac parte din categoria rău sudabile, *Figura 5.62*, şi se aplică sudare pentru remanierea unor defecte în piese turnate şi în reparaţii.

Pentru sudare se folosesc electrozi speciali din fontă silicioasă, dar nu se asigură o calitate bună a îmbinării sudate. Apare tendinţa de albire în cusătură şi călire în zona *ZIT*.

Sudarea se poate face prin două metode: la cald şi la rece.

Sudarea fontei la cald, presupune preîncălzirea metalului de bază la temperatura de 400÷700°C, în cuptoare. Înainte de sudare, defectul este eliminat, se pregăteşte rostul şi forma ad-hoc, după care se procedează la sudare. Se sudează cu electrozi din fontă cu diametrul de 8÷25 mm, cu înveliş special. După sudare, piesele se răcesc odată cu cuptorul. Se obţin suduri fără zone de albire sau de călire.

Sudarea la cald este scumpă şi cu un consum ridicat de muncă, utilizându-se numai pentru reparaţii unicat. Sudarea la cald se realizează şi cu flacără oxiacetilenică carburantă şi ca flux, boraxul.

Sudarea la rece a fontei, se face fără încălzire, cu electrozi din oţel, cupru cu fier, cupru cu nichel sau din fontă austenitică.

În cazul folosirii electrozilor din oţel, vergeaua este din oţel cu puţin carbon cu un diametru nu prea mare şi înveliş special. Nu este exclusă formarea unor structuri de albire sau călire în zona *ZIT*, dar se pot uşor prelucra.

Electrozii Cu-Fe, au vergeaua din cupru şi împletitură de fier, la care se adaugă învelişul special.

Electrozii de Cu-Ni, au vergeaua din monel (70% Ni, 28% Cu şi restul Fe) sau alpaca (maillechart-maişor, 80% Cu şi 20% Ni) cu înveliş stabilizator. Aceşti electrozi dau o sudură destul de rezistentă şi cu zone accidentale de albire. Necesită prelucrare îngrijită a rostului de sudare.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea cuprului şi aliajelor sale

Asupra sudabilităţii cuprului, o mare influenţă manifestă conţinutul de impurităţi, O_2, H_2, Bi, Pb etc. Oxidul cupros (Cu_2O) este deosebit de periculos provocând fisurarea la cald în îmbinare, datorită eutecticului uşor fuzibil Cu_2O-Cu, asemănător influenţează Bi şi Pb, iar metalul depus în eutectici intergranulari conduce la fragilitate chiar şi la temperatura ordinară.

Hidrogenul se dizolvă puternic în cupru şi la răcire iese din soluţie formând pori, dar hidrogenul provoacă totodată şi aşa numita *boală a hidrogenului*, când se combină cu Cu_2O şi dă vapori de apă care provoacă fragilitatea cuprului, respectiv apariţia de crăpături la răcire.

Prevenirea acestor defecte, reclamă sudarea în atmosferă de gaze protectoare (argon, heliu, azot, amestecuri din aceste gaze) şi folosirea ca metal de adaos sârme cu conţinut ridicat de elemente dezoxidante (Ti, Zr, B, P, Si etc.).

Cuprul are o mare conductivitate termică şi prin urmare sudarea cu arc electric reclamă o energie liniară ridicată, iar la grosimi mai mari de 4 mm este necesară preîncălzirea până la 300°C. La grosimi de peste 30 mm, se sudează cu flacără de plasmă.

Pentru lucrări unicat şi reparaţii se foloseşte şi flacăra de sudură de mare putere, asigurându-se preîncălzirea metalului, utilizând fluxuri pe bază de borax atât în rost cât şi în metalul de adaos, topind (dizolvând) astfel oxidul cupros. Cuprul cu grosime de peste 50 mm se sudează în baie de zgură.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea cuprului şi aliajelor sale

La sudarea alamelor se întâmpină dificultăţi datorită evaporării zincului şi scade rezistenţa mecanică şi rezistenţa la coroziune a cusăturii din alamă. Sudorul trebuie să lucreze cu mască de protecţie faţă de vaporii de zinc.

Se utilizează cu succes metoda WIG şi mai puţin MIG.

La sudarea cu gaze, se foloseşte un flux gazos, care dă naştere anhidridei borice (B_2O_3) care leagă vaporii de zinc în zgură şi care în acelaşi timp împiedică evaporarea zincului în atmosferă. La grosimi de alamă de peste 12 mm se recomandă preîncălzirea la 150°C.

Sudarea bronzurilor se face cu aceleaşi metode şi tehnologii de la sudarea cuprului, cu excepţia bronzurilor cu staniu, care trebuie făcută cu viteză mare, fără preîncălzire, pentru a împiedica topirea staniului uşor fuzibil.

Alamele şi bronzurile, datorită rezistenţei electrice superioare, se sudează bine prin contact şi presiune, metodă prin care cuprul nu se sudează.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea aluminiului şi aliajelor sale

Dificultatea sudării aluminiului şi aliajelor sale, este dată de marea tendinţă de oxidare şi formare a unei pelicule subţiri şi greu fuzibile de Al_2O_3, care se topeşte la 2050°C, ca şi tendinţa de formare în proces a porozităţii gazoase şi crăpăturilor la cald.

În procesul de sudare, picăturile care trec spre metalul de bază se acoperă cu o peliculă de oxid care nu fuzionează cu baia metalică şi cusătura rezultă incompactă, fragilă. Pentru a elimina acest efect nedorit se folosesc fluxuri speciale sau se sudează în medii de gaze protectoare (inerte), fluxurile fiind cloruri sau fluoruri ale metalelor alcalino-pământoase (NaCl, KCl, Ba Cl_2, LiF, CaF_2 etc.), aceste fluxuri dizolvând peliculele de oxizi.

Cauza porozităţii în sudurile pe aliaje de aluminiu, o constituie hidrogenul, provenit din umiditatea atmosferică, umiditate care aderă puternic la pelicula de oxid de pe metalul de bază şi sârma de adaos.

Pe de altă parte, pericolul porozităţii este dat şi de marea capacitate de dizolvare a hidrogenului în metalul aflat în stare lichidă şi scăzuta solubilitate în acelaşi metal aflat în stare solidă. Pentru aceasta, este necesară o curăţire mecanică deosebită a metalului de bază şi sârmei electrod, până la curăţirea chimică în soluţie de NaOH, când odată cu îndepărtarea peliculei de oxid este îndepărtată şi umiditatea absorbită.

Formarea de crăpături la cald, în aluminiu şi câteva aliaje de aluminiu, este legată de granulaţia grosolană a metalului cusăturii de sudură. Tendinţa de fisurare este accentuată prin existenţa în compoziţie a unui procent de până la 0,5% Si, care formează eutectici la marginea de grăunte.

Pentru atenuarea acestui efect se acţionează pe cale metalurgică: se folosesc sârme electrozi cu procent de Fe, care neutralizează siliciul, iar pentru finisarea structurii cusăturii se introduc modificatori ca Zr, Ti, B.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea aluminiului şi aliajelor sale

Cel mai greu se sudează termic aliajele ecruisabile din grupa Al-Cu-Mg (duraluminiurile). Prin încălzirea peste 500°C, se produce topirea marginilor de grăunte, cu formarea în zonele topite a unor produşi de tip eutectic. Aceşti eutectici sunt inferiori ca proprietăţi metalului de bază şi provoacă fragilitate care nu mai poate fi redresată prin tratamente termice.

Relativ bine se sudează termic aliajele care nu se ecruisează, din sistemul Al-Mn şi sistemul Al-Mg.

Cea mai largă aplicabilitate o are sudarea aluminiului şi aliajelor sale în atmosferă de gaze protectoare *WIG* (la grosimi de 0,5÷10 mm) şi *MIG* (la grosimi de peste 10 mm).

Se practică, de asemenea, sudarea automată sub strat de flux, care se depune pe marginile rostului de sudură. Mai rar se practică sudarea în baie de zgură şi destul de bine se practică sudarea prin presiune de contact.

Datorită conductivităţii termice ridicate, ca şi a conductivităţii electrice superioare, sudarea necesită mari densităţi de curent.

TEHNOLOGIA SUDĂRII DIFERITELOR METALE ŞI ALIAJE
Sudarea metalelor şi aliajelor greu fuzibile

Dificultăţile sudării metalelor greu fuzibile (Ti, Zr, Mo, Nb etc.) sunt legate de faptul că prin încălzirea acestora le creşte mult capacitatea de absorbţie de gaze ca oxigen, hidrogen şi azot, când un conţinut neînsemnat de gaze, reduce substanţial plasticitatea acestor metale.

Titanul şi aliajele sale se sudează în atmosferă de argon de înaltă puritate. Pentru aceasta se prevăd jeturile suplimentare de protecţie *1* şi *2* care acţionează până la temperaturi sub 350°C asupra metalului sudurii *3*, *Figura 5.63*.

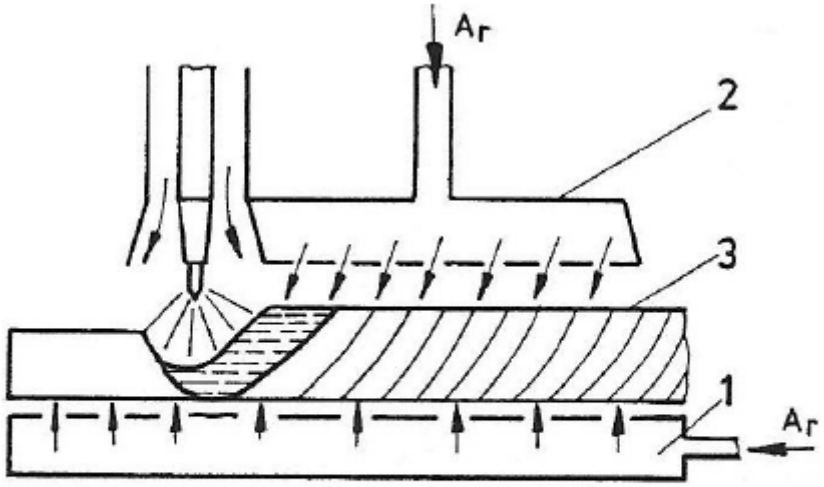


Figura 5.63. Schema sudării cu arc electric şi protecţie de argon a titanului:
1, 2 – camere de insuflare argon;
3 – cordonul de sudură.

Înainte de sudare, metalul de bază şi sârma electrod se degazează prin recoacere în vid. Procentele admise de gaze în cusătură se încadrează în limitele: $H_2 < 0{,}01\%$; $O_2 < 0{,}1\%$; $N_2 < 0{,}05\%$. La procente mai mari, scade puternic plasticitatea şi apare pericolul de fisurare-crăpare la cald.

Se execută şi sudarea în camere special amenajate cu atmosferă controlată de argon, în care operatorii-sudori sunt echipaţi cu costume ca scafandrii.

Titanul şi aliajele sale se sudează bine cu plasmă şi cu fascicul

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Bazele teoretice ale lipirii

Prin lipire, se înţelege procesul de realizare a unor îmbinări nedemontabile a semifabricatelor, printr-o încălzire sub temperatura de topire a acestora, pe calea umectării şi umplerii rostului dintre semifabricate cu metal de adaos (metalul de lipit) şi solidarizarea pieselor prin cristalizarea metalului de lipire. Acest mod de îmbinare cunoaşte două variante:

- lipirea moale, dacă metalul, aliajul de lipit are un punct de fuziune sub 500°C;
- lipirea tare sau brazarea, dacă aliajul de lipit are un punct de fuziune peste 500°C.

Lipirea moale se face cu scopul asamblării detaliilor şi eventual asigurării etanşării construcţiei, nu se asigură şi rezistenţă mecanică ridicată.

Lipirea tare (brazarea), pe lângă asamblare şi etanşare, asigură şi rezistenţă mecanică ridicată, de până la 50 daN/mm^2, funcţie de natura aliajului sau metalului de lipit.

În timpul lipirii, se produce o dizolvare şi difuziune reciprocă între metalele de bază şi aliajul pentru lipit. Pentru reuşita îmbinării, trebuie ca metalul de lipit să dizolve bine metalele de bază, să se întindă şi să adere cât mai uşor la suprafaţa tablelor de asamblat, la care nu se adaugă şi condiţia preţului său de cost cât mai scăzut şi să fie uşor de procurat.

Tehnologia de lucru presupune o curăţire a suprafeţelor de îmbinat, în care scop pe lângă curăţirea mecanică sau chimică prealabilă, se folosesc şi multe fluxuri, în măsură mai mare decât la îmbinarea prin sudare.

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Bazele teoretice ale lipirii

Fluxurile folosite, trebuie să se topească complet şi să aibe o acţiune chimică şi fizică la temperaturile relativ joase ale lipirii.

Procesele moderne de lipire sunt foarte variate şi se pot folosi pentru toate calităţile de oţel, aliaje dure, fonte, cupru, nichel, aluminiu, plumb, wolfram şi aliajele lor, pentru metale rare şi nobile.

Lipirea este aplicată mult în fabricarea automobilelor, a tractoarelor, bicicletelor, frigoriferelor, a pieselor din tablă, tablă zincată, alamă, oţel inoxidabil, oţel decapat etc.

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Lipirea moale

Aliajele pentru lipirea moale sunt uşor fuzibile, cele mai răspândite fiind cele de staniu şi plumb. Acestea au o rezistenţă mecanică mică (sub 7 daN/mm^2) şi prin urmare lipirea moale se va utiliza atunci când îmbinările nu au de suportat solicitări, cum este cazul tinichigeriei casnice, cutii de conserve, instalaţii sanitare, acoperişuri.

Cum însă aliajele de lipit au punctul de fuziune sub 673 K, trebuie ca îmbinările să nu fie solicitate termic, întrucât acţiunea temperaturii poate duce la dezmembrarea construcţiei.

Aliajele de lipit (aşa numitele Lp n – aliaje Pb-Sn, cu n procente de staniu) pe bază de staniu şi plumb sunt cuprinse în SR ISO 3677:1994 şi SR ISO 10564:1995. Se livrează sub formă de vergele (de circa 600 mm lungime) sau blocuri

Fluxurile folosite (lichide, paste, prafuri) pot fi: compuşi organici – colofoniu (sacâzul), stearina; compuşi anorganici – acidul clorhidric, clorura de amoniu (ţipirigul), clorura de zinc (apa tare).

La folosirea fluxurilor anorganice, după lipire trebuie să se înlăture toate resturile, pentru a nu permite corodarea în profunzime.

Sursa termică pentru încălzire în cazul lipirii moi, este diversă, după caz putând fi: ciocanul de lipit (letconul – încălzit cu flacără sau electric – din cupru), suflaiul pentru gaze, lămpi de lipit, băi de topit aliajul de lipit sau curentul electric.

În lucrările staţionare, de atelier, se folosesc de regulă ciocanele de lipit, ca şi instalaţii şi electronică. Pentru lucrări de şantier, în aer liber se folosesc lămpile de benzină, iar pentru lucrări industriale şi de serie se foloseşte imersia pieselor în băi cu aliaj topit.

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Lipirea moale

Tehnologia lipirii moi, reclamă ca suprafeţele de îmbinat să fie perfect curate. Această curăţire se face mecanic cu perii de sârmă, prin pilire, cu hârtie abrazivă sau chimic, prin ardere sau fierbere într-o substanţă alcalină.

La folosirea ciocanului de lipit din cupru, acesta se încălzeşte la 523÷873 K, la temperaturi mai mari cuprul se distruge prin difuzia staniului ca şi din cauza oxidării.

Ciocanul de lipit încălzit se cositoreşte prin frecare în ţipirig în prezenţa unei bucăţi de staniu şi se trece imediat pe urma de lipire unde se topeşte şi întinde aliajul de lipit din vergea, când se folosesc şi fluxuri. Lipirea trebuie făcută cu un strat subţire de metal care pătrunde în spaţiul îngust dintre suprafeţele de îmbinat.

Lipirea cu flacără sau lampă cu benzină se foloseşte atunci când temperatura trebuie să fie mai ridicată sau când forma piesei nu permite utilizarea ciocanului de lipit. Porţiunile care urmează să fie lipite se încălzesc până când se topeşte aliajul de lipit întins în prealabil împreună cu fluxul, după care se aşteaptă răcirea şi se execută curăţirea sau ajustarea. Metoda se utilizează mai ales la lipirea ţevilor de plumb.

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Lipirea moale

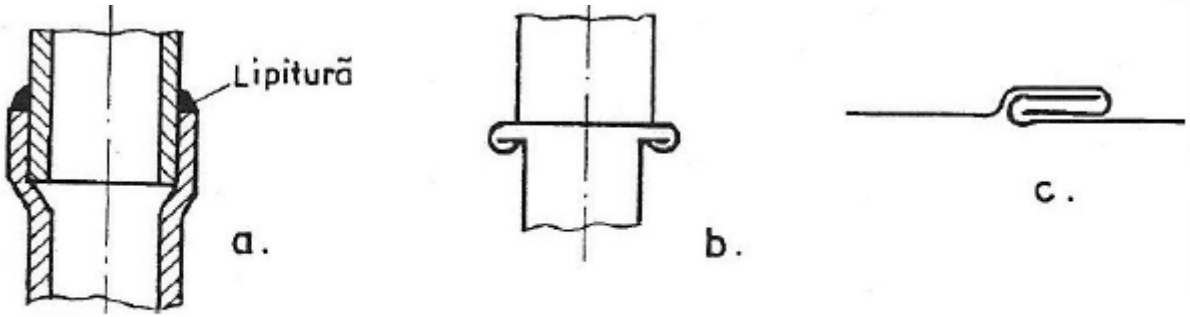


Figura 5.64. Exemple de lipituri moi:
a – prin manşonare; b – prin fălţuire; c – tinichigerie şi acoperişuri.

Lipirea prin cufundare, este mai simplă, baia cu aliaj de lipit topit, acoperită cu flux, serveşte pentru imersia pieselor pe suprafeţele lor de îmbinat. Se aplică la lucrări de serie. De regulă, lipirea moale se face prin suprapunere sau cu pregătire mecanică a marginilor, pentru a se asigura şi o anumită rezistenţă, *Figura 5.64.*

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Lipirea tare

Lipirea tare, aşa după cum s-a mai arătat se aplică atunci când îmbinarea trebuie să satisfacă la solicitări importante, rezistenţa la rupere putând atinge 50 daN/ mm^2. Se supun lipirii tari materiale metalice importante, cum sunt: oţelul; fonta; bronzul; alama şi alte materiale.

Aliajele pentru lipire tare au punctul de fuziune peste 823 K, lipirea executându-se la 900÷1400 K şi se disting două categorii importante: aliaje Cu-Zn (alame pentru lipit); aliaje cu argint.

Ca flux pentru lipirea tare se foloseşte boraxul.

Aliajele cu argint sunt de fapt alame cu argint, care oferă o rezistenţă mecanică mare, o bună rezistenţă la coroziune şi o temperatură mai joasă.

Tehnologia lipirii tari, reclamă ca şi la lipirea moale, ca suprafeţele de lipit să fie curate, curăţirea făcându-se prin aceleaşi metode ca şi la lipirea moale. Îmbinările se pot realiza prin suprapunere, cap la cap şi prin feţe teşite.

LIPIREA METALELOR ŞI ALIAJELOR
Lipirea tare

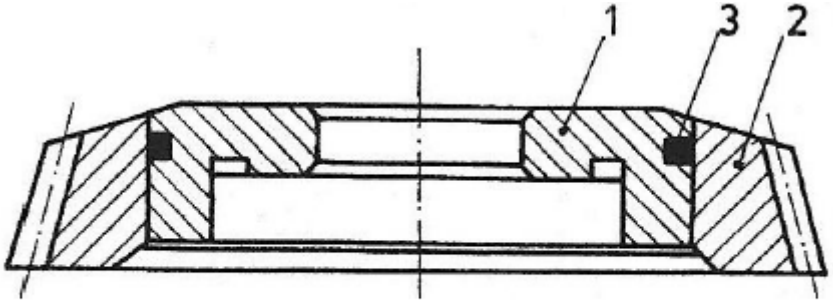
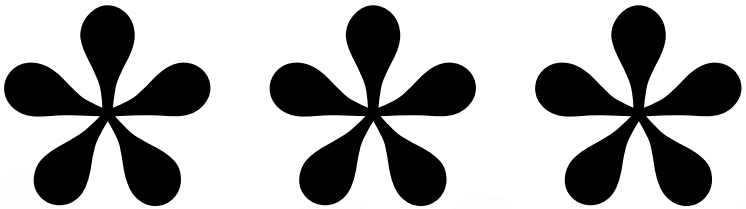


Figura 5.65. Lipirea tare a unui cuţit roată de mortezat:
1 – corpul cuţitului; 2 – coroana de aşchiere;
3 – aliaj de lipit.

Pentru executarea lipirii, fluxul se aplică în prealabil pe marginile de îmbinat, aliajul de lipit (foiţe, praf etc.) aşezându-se între feţe sau lângă locul de îmbinare. Încălzirea pentru topire se face cu flacără, prin inducţie sau în cuptoare.

Pentru exemplificare, în *Figura 5.65* se prezintă un cuţit roată de mortezat roţi dinţate, unde topirea aliajului de lipit se face odată cu încălzirea pentru călire. Ca aliaj de lipit se foloseşte o sârmă de cupru cu diametrul de 2,5÷2,75 mm, care asigură o rezistenţă mecanică ridicată, ca şi cum scula ar fi dintr-o bucată.



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

- Metode de obţinere a pulberilor metalice
- Prepararea amestecului şi formarea semifabricatului
- Sinterizarea şi operaţiile suplimentare de prelucrare
- Produse ale metalurgiei pulberilor

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Metalurgia pulberilor este o metodă tehnologică de fabricare a unei materii prime sub formă de pulberi şi din aceste pulberi, printr-o tehnologie specială, a unor piese pentru construcţia de maşini.

Din pulberi metalice sau amestecuri de pulberi se presează diversele semifabricate care se supun tratamentului specific de recoacere de sinterizare. Industrial se fabrică piese din pulberi de fier, cupru, nichel, crom, cobalt, wolfram, molibden, titan etc.

Un proces tehnologic de fabricare a produselor prin agregare de pulberi presupune succesiunea logică a următoarelor operaţii fundamentale: pregătirea pulberilor sau a amestecului de pulberi pentru formare sau păstrare; formarea produselor prin agregare crudă; sinterizarea semifabricatelor; operaţii suplimentare, ulterioare; controlul produselor sinterizate.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Metode de obţinere a pulberilor metalice

Pulberile metalice se pot obţine prin metode mecanice şi fizico-chimice.

Cea mai utilizată este *metoda mecanică* de măcinare a unei materii prime iniţiale sub formă de aşchii, căzătură de metal sau fier vechi în mori mecanice, obţinându-se astfel pulberi din aliaje – compuşi chimici sau materiale fragile cum sunt siliciul, beriliul etc. Pe această cale, a măcinării, nu se produc modificări ale compoziţiei chimice a materiei prime iniţiale. Neajunsul metodei constă în costul prea ridicat al pulberilor incluzând aici şi costul fabricării metalelor şi aliajelor turnate şi productivitatea scăzută a procesului.

Dintre *metodele fizico-chimice* de obţinere a pulberilor se desprind, în principal, reducerea oxizilor, precipitarea din soluţii apoase şi altele. În general, prin procedeele fizico-chimice se modifică compoziţia chimică a produsului iniţial şi reprezintă de fapt metoda universală de obţinere a pulberilor. Pe această cale devine economică fabricarea pulberilor din deşeuri şi arsuri, oxizi, iar pentru metalele greu fuzibile este una din metodele de bază de fabricare a pulberilor.

Comportarea pulberilor metalice în procesul de presare şi sinterizare, depinde de proprietăţile acestora, care la rându-i depind şi de modul de fabricare a pulberii. Din acest punct de vedere o pulbere metalică se poate deci caracteriza prin compoziţie chimică, dar şi prin proprietăţi fizice şi tehnologice (dimensiuni şi forme ale granulelor, microduritate, densitate, sistem de cristalizare, curgere, presabilitate şi comportare la sinterizare).

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Metode de obţinere a pulberilor metalice

Prin curgerea pulberii, se înţelege capacitatea de umplere a formei, care se înrăutăţeşte cu micşorarea dimensiunilor pulberii şi creşterea umidităţii. Curgerea sau capacitatea de umplere se apreciază prin cantitatea de pulbere care curge printr-o gaură cu diametrul de 1,5÷4 mm în timp de o secundă. Această proprietate tehnologică a pulberii are o mare importanţă în procedeele automate, unde productivitatea depinde direct de capacitatea umplerii formei. De asemenea, trebuie arătat că o capacitate de curgere scăzută, conduce la o densitate neuniformă a pieselor fabricate.

Prin presabilitate, se înţelege capacitatea pulberii de a se îndesa sub acţiunea unei forţe exterioare şi de a-şi păstra o oarecare rezistenţă mecanică a produsului după presare. Presarea depinde de plasticitatea particulelor, de dimensiunea şi forma lor şi creşte cu creşterea procentului de introducere în amestecul presat de substanţe cu suprafeţe active.

Prin capacitate de sinterizare, se înţelege rezistenţa căpătată de produsul presat dacă este supus tratamentului termic de recoacere de sinterizare.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Metode de obţinere a pulberilor metalice

Ca maşini şi metode practice de fabricare a pulberilor deosebim:

- măcinarea în mori cu bile şi vibratoare, pentru materiale fragile şi casante (feroaliaje, metale dure, catozi fragili, aşchii de fontă şi oţel etc.);
- măcinarea în mori cu vârtej, pentru materiale cu tenacitate ridicată (oţel moale, cupru, aluminiu);
- pulverizarea din stare lichidă;
- metoda carbonil, cu obţinerea pulberii din stare gazoasă, aplicabilă pentru fier, nichel, crom, cobalt, molibden, wolfram, obţinându-se pulberi foarte fine. În acest caz, metalul se tratează cu oxid de carbon în condiţii speciale de temperatură şi presiune, obţinându-se carbonilul, care prin descompunere dă pulberea:

$$M_n(CO)_m \Leftrightarrow nM + m(CO).$$

Se pot obţine astfel şi pulberi de aliaje (Fe-Co, Fe-Ni, Fe-Mo, Ni-Co), supunându-se descompunerii amestecuri de carbonili;

- metoda electrolitică, este aplicabilă aproape tuturor metalelor, obţinându-se cea mai pură pulbere, chiar şi din materii prime impure.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Prepararea amestecului şi formarea semifabricatului

Procesul de preparare constă în recoaceri prealabile, sortarea pulberii după mărime şi amestecare.

Recoacerea prealabilă se face cu scopul reducerii oxizilor şi eliminarea ecruisării de la fabricaţia anterioară. Recoacerea se face la o temperatură de 0,5÷0,6 din temperatura de topire a metalului pulberii în atmosferă protectoare sau reducătoare.

Pulberile cu dimensiuni ale granulelor peste 50 μm se clasează cu ajutorul sitelor vibratoare, iar sub 50 μm, în curent de aer.

În amestecul de pulberi se introduc şi unele materiale auxiliare, cu diverse roluri, cum sunt: plastifianţi (parafină, stearină etc.), care asigură presarea şi obţinerea unor semifabricate de calitate; materiale uşor fuzibile, care îmbunătăţesc procesul de sinterizare; substanţe volatile pentru obţinerea unei anumite porozităţi. Amestecul de pulberi pregătit se omogenizează în mori cu bile, tobe şi alte instalaţii.

Din amestecul preparat, se formează apoi prin presare semifabricatele sau piesele, prin diverse procedee de presare în forme sau prin laminare.

Presarea la rece, *Figura 7.1*, presupune introducerea amestecului dozat *3* şi presarea în *pres-forma 2* cu ajutorul *poansonului 1*. Prin presare, creşte suprafaţa de contact între granule, se micşorează porozitatea şi se deformează sau sfărâmă unele granule. Rezistenţa piesei este dată numai de forţele de coeziune mecanică. Presiunea se distribuie însă neuniform pe înălţimea de presare, datorită frecării cu pereţii formei şi prin urmare rezistenţa şi porozitatea piesei sunt diferenţiate pe înălţimea produsului.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Prepararea amestecului şi formarea semifabricatului

Presarea se poate face dintr-o singură parte, *Figura 7.1(a)*, pentru piese de formă simplă cu raportul înălţimii la diametru subunitar şi pentru bucşe la care raportul diametrului exterior la grosimea peretelui este sub trei.

Pentru piese de formă complexă se aplică presarea bilaterală sau din două părţi, *Figura 7.1(b)*, când pentru obţinerea a aceleiaşi densităţi, presiunea faţă de presarea unilaterală scade cu 30÷40%.

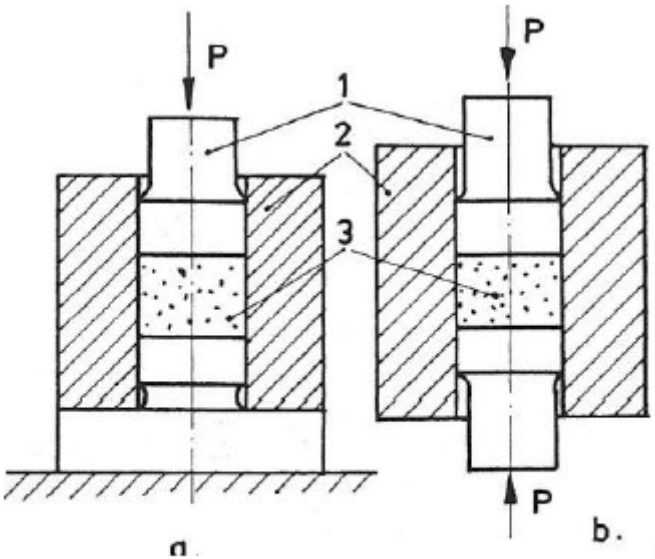


Figura 7.1. Schema presării la rece:
1 – poansoane; 2 – matriţe;
3 – pulbere.

Presiunea de regim depinde de densitatea cerută, forma semifabricatului, tipul pulberii şi alţi factori. Presarea cu vibrare micşorează şi mai mult presiunea de regim.

În procesul de presare, particulele de pulbere suportă deformaţii elastice şi plastice, ceea ce duce la acumularea unei anumite stări de tensiuni şi prin urmare la scoaterea piesei din forma de presare, se vor produce măriri dimensionale provocate de elasticitate.

Presarea la cald presupune, de regulă, combinarea procedeelor de formare şi sinterizare. Temperatura se alege, în general, între 0,6 şi 0,8 din temperatura de topire a pulberii. Datorită încălzirii, compactarea are loc mult mai intens şi se reduce mult presiunea de lucru necesară. Se formează pe această cale materiale cu rezistenţă, densitate

şi omogenitate structurală ridicată, cum sunt compuşii metalelor greu fuzibile (carburi, boruri). Productivitatea scăzută, fiabilitatea scăzută a formei din grafit (10÷12 presări), necesitatea atmosferei de gaze protectoare, limitează mult utilizarea acestei metode.

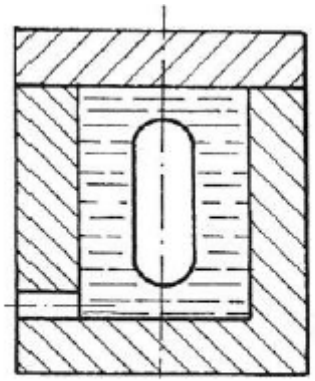


Figura 7.2. Schema presării hidrostatice.

Presarea hidrostatică, se foloseşte la obţinerea semifabricatelor metalo-ceramice, la care nu se cere mare precizie. Principiul metodei, *Figura 7.2*, constă în introducerea pulberii într-un înveliş elastic şi a dozei într-un spaţiu hidrostatic, o cameră hidraulică, exercitându-se presiune din toate părţile uniform (principiul lui Pascal). Prin lipsa frecării exterioare, semifabricatul capătă o compactitate uniformă şi o presiune de regim mai scăzută. Ca mediu de presare se poate folosi apa, uleiul, glicerina.

Presarea prin extrudare, se foloseşte la obţinerea unor semifabricate de forma unor bare, ţevi şi diverse profile. Metoda este similară cu procedeul extrudării metalului compact. În amestecul de pulberi se introduce cel puţin 12% plastifiant care îmbunătăţeşte coeziunea particulelor şi micşorează frecarea cu pereţii formei. Ca utilaje de presare se folosesc presele mecanice şi hidraulice.

Formarea prin laminare, este unul din cele mai productive şi de perspectivă procedee, *Figura 7.3*.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Prepararea amestecului şi formarea semifabricatului

Pulberea 2 din *buncărul 1* trece prin jocul dintre *cilindrii 3* şi este presată sub formă de bare sau table de o anumită grosime. Laminarea poate fi combinată şi cu sinterizarea şi finisarea. În acest caz produsul trece în cuptorul de sinterizare, după care se lamineză din nou şi numai tablele destinate filtrelor sau materialelor antifricţiune nu se mai supun unei noi laminări după sinterizare.

Numărul de treceri la laminare pentru a obţine o anumită compactitate depinde de plasticitatea pulberilor şi parametrii regimului de laminare. După *Figura 7.3(b)* se obţin materiale sinterizate în două straturi.

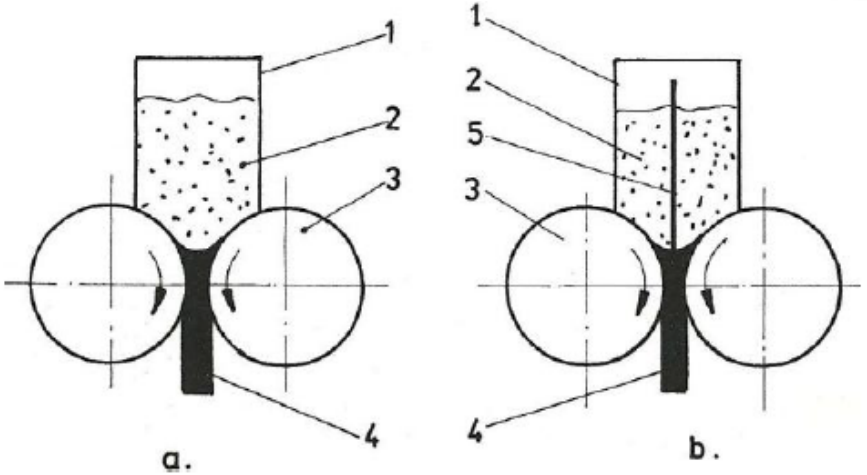


Figura 7.3. Schema laminării pulberilor.
a – cu buncăr simplu; b – buncăr cu perete despărţitor;
1 – buncăr; 2 – pulbere; 3 – valţuri; 4 – produs; 5 – perete despărţitor.

Se pot obţine table cu grosimi de 0,02÷3 mm şi lăţimi de până la 300 mm şi de asemenea, profile (cu cilindri calibraţi) ca şi sârme cu diametrul de la 0,25 la câţiva mm. Se pot fabrica table, benzi din diverse materiale: poroase; greu fuzibile; de fricţiune etc.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Sinterizarea şi operaţiile suplimentare de prelucrare

Sinterizarea se face cu scopul de a mări rezistenţa produselor anterior obţinute la formarea mecanică prin presare sau laminare.

În semifabricatele presate crud, contactul dintre particule este scăzut, creşterea suprafeţei de contact se realizează tocmai pe calea sinterizării. Aceasta este posibil prin faptul că prin încălzire au loc următoarele procese: reducerea oxizilor superficiali; difuzia; recristalizarea, procese care depind de temperatura şi timpul de sinterizare ca şi de mediul de tratament şi alţi factori.

Totodată, prin sinterizare are loc şi o micşorare a dimensiunilor pieselor şi o modificare a proprietăţilor materialului.

Temperatura de sinterizare se alege între 0,6 şi 0,9 din temperatura de topire a pulberii în cazul sistemului monocomponent sau a pulberii de bază din sistemele multicomponente.

După atingerea temperaturii de regim pe întreaga secţiune a pieselor, menţinerea se încadrează între 30 şi 90 minute. Ridicarea temperaturii şi mărirea timpului de sinterizare conduc la creşterea rezistenţei şi durităţii semifabricatului, prin creşterea suprafeţei de contact dintre particulele de pulbere, dar aceasta numai până la anumite limite care dacă sunt depăşite se produce creşterea granulaţiei şi apare scăderea rezistenţei mecanice.

Sinterizarea, în condiţiile în care în compoziţia semifabricatului intră şi componente uşor fuzibile, conduce la creşterea compactităţii (scăderea porozităţii) şi ridicarea proprietăţilor fizico-mecanice. În acest sens, unele piese de electrocontact, din materiale greu fuzibile, au în compoziţie unele elemente ca argint sau cupru.

Sinterizarea se execută în cuptoare cu rezistenţă sau cu inducţie, cu atmosferă controlată, reducătoare sau în vacuum.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Sinterizarea şi operaţiile suplimentare de prelucrare

După sinterizare, produsele mai suportă unele **prelucrări suplimentare**, fie pentru ajustarea proprietăţilor fizico-mecanice, fie pentru obţinerea stabilă a formei şi dimensiunilor, fie pentru acoperire decorativă sau de protecţie anticorozivă.

Pentru ***îmbunătăţirea proprietăţilor fizico-mecanice*** se pot aplica: o nouă presare şi sinterizare; impregnarea cu materiale de ungere (lagăre antifricţiune); tratamente termice sau termochimice.

Repetarea presării şi sinterizării urmăreşte obţinerea unor piese de mare densitate. Pentru aceasta se folosesc aceleaşi forme de presare sau alte forme mai precise, după necesitate. De asemenea, produsele sinterizate se pot supune forjării, laminării, matriţării la temperaturi ridicate, în care caz scade porozitatea şi creşte plasticitatea materialului. De exemplu, semifabricatele din wolfram cu porozitate iniţială de 38÷40%, după forjare au rămas numai cu 2÷5% porozitate şi metalul a căpătat o foarte bună plasticitate, apt pentru laminare şi tragere prin filiere, în vederea laminării aplicându-se şi o recoacere intermediară la peste 1200°C. După trefilare, în sârma de wolfram cu diametrul de 0,05 mm, porozitatea a coborât sub 1%.

Impregnarea se realizează prin cufundarea în băi cu ulei la temperatura de 70÷140°C, cu o durată de menţinere de 15 minute la 2 ore, când gradul de umplere a porilor este în jur de 90÷95%. O îmbibare şi mai bună a porilor se face în băi cu atmosferă vidată.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Sinterizarea şi operaţiile suplimentare de prelucrare

Dintre *tratamentele termice* aplicate se deosebesc, recoacerea şi călirea. Recoacerea se aplică pentru semifabricate din metale greu fuzibile, care îmbunătăţesc plasticitatea materialului în vederea prelucrării prin forjare, tragere, laminare. Existenţa porilor, prezintă riscul oxidării şi atacului de coroziune din partea mediului de călire şi prin urmare încălzirea trebuie să se facă fără oxidare, iar mediul de călire să nu provoace coroziune. Se aplică uneori şi *tratamente termochimice* de cementare pentru materialele feroase, având în vedere că porozitatea sinterizatelor accelerează efectul cementării. Pentru creşterea rezistenţei la uzare se aplică sulfizarea.

Pentru a da ***forme şi dimensiuni precise***, după caz, se pot aplica operaţii de calibrare, tragere, matriţare şi prelucrare prin aşchiere.

Calibrarea se realizează în forme de presare sau dispozitive. În vederea calibrării, dimensiunile semifabricatului sinterizat trebuie să fie cu 0,5÷1% mai mari (pentru dimensiuni interioare mai mici) decât dimensiunile finale. După calibrare creşte rezistenţa şi scade plasticitatea, aplicându-se uneori suplimentar, o nouă sinterizare sau o recoacere obişnuită.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Produse ale metalurgiei pulberilor

Prin metalurgia pulberilor se obţin diferite materiale de construcţie din care se fabrică semifabricate sau piese finite. Dintre produsele mai importante, se desprind în primul rând cele cu proprietăţi speciale fizico-mecanice şi de exploatare, prezentate în continuare.

Materiale metalo-ceramice de antifricţiune, destinate fabricării lagărelor de alunecare din diverse domenii în construcţia de maşini.

În materialele antifricţiune, cu o porozitate de 10÷35%, baza metalică este componenta tare, iar porii umpluţi cu ulei, grafit sau mase plastice joacă rol de componentă moale. Un lagăr de alunecare fabricat din astfel de materiale cu pori îmbibaţi cu ulei, poate să funcţioneze fără ungere suplimentară timp de câteva luni, iar lagărele cu buzunare speciale pentru rezerva de ulei pot funcţiona 2÷3 ani.

Pentru materiale poroase antifricţiune se pot folosi reţete de: fier-grafit; fier-cupru-grafit; bronz-grafit; aluminiu-cupru-grafit etc. Procentual, diversele componente sunt legate de condiţiile de exploatare prescrise pentru piesele respective.

Materiale de fricţiune. Sunt compoziţii complexe pe bază de cupru sau fier. Coeficientul de frecare poate să fie ridicat prin adaos de asbest, carburi ale metalelor greu fuzibile, diverşi oxizi. Pentru reducerea uzurii, în compoziţie se introduce grafit sau plumb.

Materialele de fricţiune, obişnuit, se folosesc sub formă de elemente bimetal, alcătuite dintr-un strat de fricţiune sinterizat sub presiune pe suport (bandă sau disc).

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Produse ale metalurgiei pulberilor

De exemplu, coeficientul de frecare pe fontă a materialelor de fricţiune pe bază de fier este de 0,5 şi pot suporta temperaturi în zona de frecare de până la 500÷600 °C.

Materialele de fricţiune se folosesc în ansamblurile sau subansamblurile de frânare sau de cuplare (ambreiaje), în construcţia de automobile şi avioane etc.

Materiale cu porozitate mare. Sunt destinate fabricării filtrelor. În funcţie de locul de exploatare, filtrele se fac din materiale sinterizate pe bază de pulbere rezistentă la coroziune din oţel, aluminiu, titan, bronz etc., porozitatea mergând până la 50%.

Asemenea materiale se obţin prin sinterizarea produselor din pulberi fără presarea prealabilă sau prin laminare între valţuri care se rotesc la fabricarea benzilor poroase. De asemenea, în compoziţie se adaugă substanţe care se volatilizează prin sinterizare şi se poate obţine astfel o porozitate dorită.

Aliaje dure metalo-ceramice. Se caracterizează printr-o duritate mare şi o rezistenţă ridicată la uzură şi temperatură. Din aceste materiale se fabrică scule aşchietoare şi de foraj, se încarcă pe suprafeţele de uzură a unor detalii (piese).

Se fabrică din carburi ale metalelor greu fuzibile (WC, TiC, TaC), iar ca liant se foloseşte, de regulă, cobaltul, procentual fiind dozate după destinaţie (pentru aşchiere oţel, fontă, neferoase etc.). Prin metalurgia pulberilor se fabrică şi materiale din pulbere de almaz cu liant pulbere metalică din cupru, nichel sau alte aliaje.

Materialele rezistente la temperatură şi refractare, stau la baza fabricării pieselor care lucrează la temperaturi înalte. Aceste materiale trebuie să posede o înaltă rezistenţă la temperatură şi o bună rezistenţă la oxidare. Satisfac la aceste condiţii aliaje pe bază de nichel, titan, tantal, wolfram etc., care pot rezista până la 850÷900°C. Pentru temperaturi mai ridicate, de până la 3000°C, se pot utiliza oxizi ai metalelor greu fuzibile şi dure, carburi, boruri etc.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Produse ale metalurgiei pulberilor

Materiale cu proprietăţi electromagnetice speciale, ferite pentru magneţi permanenţi, dielectrice etc.

Materiale de construcţie de contact, obţinute din pulberile diverselor metale şi aliaje, care au o mare densitate. De exemplu, pulbere de aluminiu cu oxid de aluminiu (până la 15%), oxidul învelind granulele de aluminiu, prin sinterizare formează un material de o bună continuitate, reţeaua de oxizi asigurând produsului o înaltă rezistenţă la temperatură, ceea ce face ca acest material să reziste mult timp la temperaturi de până la 600°C. Aceasta face posibilă utilizarea unui astfel de material ($Al+Al_2O_3$) la fabricarea unor piese importante, cum ar fi: palete; pistoane; bucşe pentru turbine cu gaze.

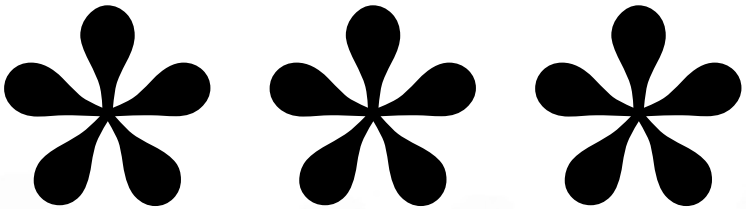
Materiale fibroase sau aşa numitele **materiale-compozit**, cu o compoziţie din matrice moale şi fibre de înaltă rezistenţă care armează matricea. Fibrele posedă o înaltă rezistenţă specifică şi de asemenea, pot avea şi proprietăţi speciale fizico-chimice, cum ar fi: conductivitate termică scăzută; rezistenţă la temperatură; o bună rezistenţă chimică etc. În acest sens, fibrele pot fi din: wolfram; molibden; oxid de aluminiu; oxid de bor; carbură de siliciu; carbon, după destinaţia în exploatare a produsului.

Dezvoltarea metalurgiei pulberilor, privind tehnologiile de fabricare, faţă de tehnologiile clasice de topire şi turnare se bazează pe următoarele consideraţii:

- posibilitatea obţinerii unor materiale metalice imposibil de obţinut pe alte căi;
- posibilitatea obţinerii directe după presare şi sinterizare de piese finite, care nu mai necesită prelucrări ulterioare şi cu mari economii de metal;
- obţinerea de pseudoaliaje: W-Cu; Mo-Ag sau metale cu nemetale: Cu-grafit; Fe-mase plastice; metal+diamant; amalgame dentare.

FABRICAREA PIESELOR PRIN METODA METALURGIEI PULBERILOR

Produse ale metalurgiei pulberilor



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Suport curs

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

- Fabricarea pieselor din mase plastice
- Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc
- Particularităţi tehnologice şi de proiectare la fabricarea pieselor din materiale compozit
- Particularităţi tehnologice privind prelucrarea mecanică a pieselor din materiale compozit
- Grunduri, chituri, vopsele, lacuri şi emailuri
- Produse din lemn
- Produse din sticlă
- Materiale refractare
- Materiale neconvenţionale

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Caracterizarea maselor plastice

Prin mase plastice se înţeleg acele materiale care au la bază combinaţii macromoleculare pe seama unor răşini sintetice sau naturale, respectiv combinaţii dintr-un număr mare de monomeri legaţi între ei prin forţe proprii legăturilor de valenţă.

Masele plastice macromoleculare alcătuite din aceleaşi lanţuri de monomeri se numesc polimeri şi pot fi liniari, ramificaţi şi spaţiali (in situ), *Figura 8.1*.

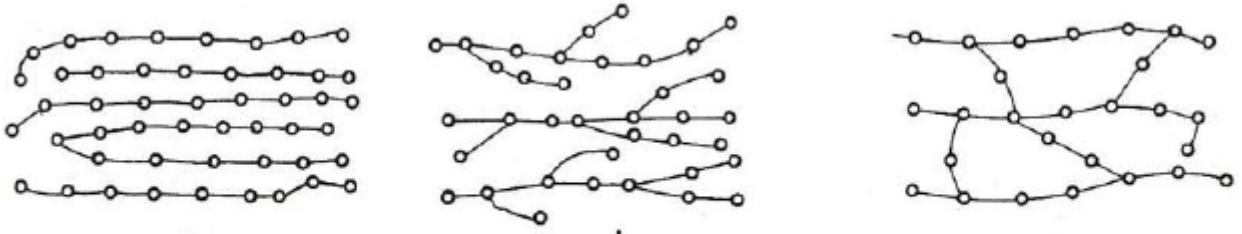


Figura 8.1. Scheme structurale de polimeri:
a – liniari; b – ramificaţi; c – spaţiali.

Polimerii liniari au formă de lanţuri în care atomii sunt menţinuţi prin legături covalente, anumite lanţuri determinând, în principal, proprietăţile macromoleculare.

La polimerii cu structură ramificată, legăturile intermoleculare slăbesc şi de asemenea, scade temperatura de înmuiere a unor asemenea mase plastice.

Structurile spaţiale se obţin ca rezultat al legăturilor chimice a unor lanţuri, fie în urma unui proces de policondensare, fie de polimerizare. Asupra proprietăţilor unor astfel de mase plastice, o mare influenţă manifestă densitatea legăturilor chimice spaţiale, iar dacă aceste legături sunt relativ rare, atunci se pot obţine structuri în reţea.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Caracterizarea maselor plastice

Polimerii cu structură liniară se pot foarte uşor dizolva, întrucât dizolvantul pătrunde uşor printre molecule şi slăbesc legăturile de valenţă (intermoleculare).

Polimerii cu structură în reţea sunt nedizolvabili (insolubili), sub acţiunea unui solvent se umflă, dar nu se dizolvă, anumiţi polimeri nu se pot dizolva şi nici topi.

Din punct de vedere structural, polimerii (masele plastice) pot fi amorfe (cu dispunere dezordonată a moleculelor) şi cristaline (cu aranjare ordonată a moleculelor).

Trecerea unui polimer din stare amorfă în stare cristalină, atrage după sine creşterea rezistenţei mecanice şi rezistenţei la temperatură.

Sub influenţa temperaturii, masele plastice după modul lor de comportare, se împart în două categorii: termoplaste şi termorigide.

Masele plastice termoplaste, prin încălzire se înmoaie şi se topesc şi din nou prin răcire se întăresc, proces care nu provoacă modificarea compoziţiei chimice. Acestea sunt masele plastice de tip liniar sau ramificat în ce priveşte structura moleculară.

Masele plastice termorigide, prin încălzire trec în stare vâscoasă, iar ca rezultat al unor reacţii chimice trec în stare dură ireversibilă şi ciclul termic nu mai poate fi reluat. În urma polimerizării, structura liniară se transformă în structură spaţială. Unele răşini termoreactive (epoxidice) se întăresc la temperatura ordinară dacă în compoziţia lor se introduc întăritori.

Această comportare a maselor plastice cu temperatura este de mare importanţă pentru prelucrarea lor tehnologică şi obţinerea de piese în construcţia de maşini.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Caracterizarea maselor plastice

Tehnologic, masele plastice posedă o mare capacitate de modelare, datorită plasticităţii lor ridicate, iar prin solicitare mecanică se plasează între metale şi elastomeri (cauciucul), *Figura 8.2.*

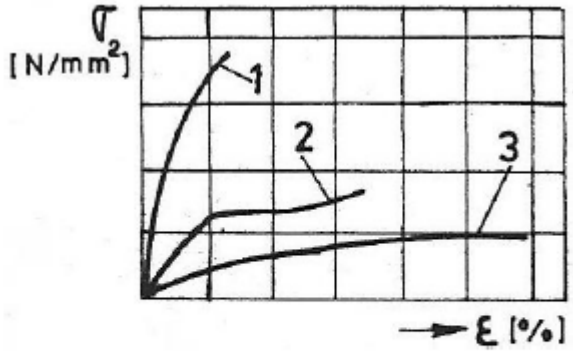


Figura 8.2. Dependenţa între tensiune şi deformaţie a unor materiale: 1 – metale; 2 – mase plastice; 3 – cauciuc.

Pe de altă parte, prin alte proprietăţi cum sunt: o rezistenţă deosebită la acţiunea acizilor şi bazelor; rezistenţă la oxidare; impermeabilitate; conductivitate termică şi electrică redusă; greutate specifică redusă; rezistenţe specifice (ca raport între rezistenţă şi greutate specifică), masele plastice sunt comparabile cu aluminiul şi chiar cu unele oţeluri, aceasta făcând posibilă utilizarea lor cu succes chiar la înlocuirea unor materiale deficitare în construcţia de maşini.

În funcţie de numărul componentelor care alcătuiesc natura chimică, masele plastice se împart în două grupe:

- ***mase plastice simple*** (polietilena, polistirenul etc.) alcătuite dintr-o singură răşină naturală sau sintetică;

- ***mase plastice compuse*** (fenoplaste, aminoplaste etc.) alcătuite din câteva componente, fiecare cu un rol bine determinat. În aceste mase plastice, răşina joacă rol de liant pentru celelalte componente şi în funcţie de procentul de liant (răşină) de 30÷70% şi proprietăţile maselor plastice respective vor marca proprietăţi diferenţiate.

Astfel, în masele plastice complexe, pe lângă răşină ca liant, mai pot intra:

- *materiale de umplutură*, care alcătuiesc scheletul masei plastice imprimându-i acesteia proprietăţi importante cum sunt: rezistenţă mecanică ridicată; rezistenţă termică; contracţie scăzută, la care se adaugă preţul mai scăzut al masei plastice compuse. Dintre materialele de umplutură deosebim: materiale de natură organică (făină de lemn, deşeuri din bumbac, celuloză, ţesături de bumbac, hârtie, rumeguş de lemn etc.) şi materiale de natură anorganică (grafit, asbest, cuarţ, fibre de sticlă, ţesături de sticlă etc.);

- *plastifianţi* (esteri ai acidului ftalic, fosforic, polimeri cum ar fi butadiena, poliizobutena), care se introduc în proporţie definită (0,05÷40%), cu scopul de a mări plasticitatea şi a reduce fragilitatea;

- *substanţe lubrifiante* (stearină, stearat de calciu) care măresc capacitatea de curgere şi micşorează frecarea dintre particulele de compoziţie, ca şi dintre compoziţie şi matriţă;

- *catalizatori* (oxid de calciu şi magneziu) care accelerează procesul de întărire-solidificare a maselor plastice compuse;

- *coloranţi sau pigmenţi* (oxizi de crom, cadmiu, praf de aluminiu, bioxid de titan, pigmentul albastru antrachinonic etc.), care trebuie să reziste la acţiunea luminii şi temperaturii şi se introduc în compoziţie în procent de 2÷3%;

- *substanţe gazoase sau care emană gaze în proces*, pentru cazul fabricării maselor plastice poroase (polistiren expandat etc.).

Materialele de bază (răşinile) sunt naturale (chihlimbarul, şelacul, colofoniul, copalul) şi sintetice (de polimerizare, de policondensare).

Ca material, în construcţia de maşini, masele plastice sunt de joasă, medie şi înaltă rezistenţă.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Caracteristicile tehnologice ale maselor plastice

Dintre ***proprietăţile tehnologice*** fundamentale ale maselor plastice, mai importante se deosebesc: fluiditatea; contracţia; viteza de întărire (pentru termorigide); stabilitatea la temperatură (pentru termoplaste).

Prin *fluiditate* se înţelege capacitatea materialelor de a umple forma la o anumită temperatură şi presiune şi care depinde de natura şi conţinutul de răşină, umplutură, plastifiant, substanţe de ungere din compoziţia masei plastice, ca şi de complexitatea geometrică a formei de presare.

Pentru termoplaste, ca indicator de fluiditate se poate lua şi cel specific metalului lichid, respectiv cantitatea de material care curge printr-un orificiu de 2,095 mm la o anumită temperatură şi presiune, în unitatea de timp.

Prin *contracţie*, ca şi la metal, se va înţelege micşorarea absolută sau relativă a dimensiunilor piesei comparativ cu dimensiunile cavităţii formei de presare-turnare.

Mărimea contracţiei, depinde de natura răşinii, cantitatea şi natura umpluturii, conţinutul de umiditate şi substanţe volatile, regimul de temperatură şi alţi factori. De contracţie trebuie să se ţină cont la proiectarea formei de turnare-presare.

Viteza de întărire, se defineşte prin durata în care masa plastică (termorigidă), din stare vâscoasă trece în stare solidă (întărită), de totală reacţie de polimerizare. Acest proces depinde de proprietăţile liantului şi temperatura de prelucrare. O durată redusă de întărire, presupune menţinerea mai îndelungată în formă, sub presiune, ceea ce conduce la o productivitate scăzută. O viteză prea mare de polimerizare poate să ducă la întărirea prematură a unor detalii din piesă înainte ca forma să fie complet umplută.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Caracteristicile tehnologice ale maselor plastice

Prin *stabilitate termică* se înţelege timpul în care masa plastică termoplastă capătă o anumită temperatură fără să se descompună. Din acest punct de vedere, foarte bine se comportă polietilena, polipropilena, polistirenul etc., care se pot cu uşurinţă transforma în piese, pe când cele cu stabilitate termică scăzută (poliformaldehide, policlorură de vinil), reclamă măsuri tehnologice speciale (creşterea secţiunii elementelor reţelei de turnare).

În funcţie de starea fizică şi proprietăţile tehnologice, prelucrarea maselor plastice se poate face în diverse moduri, care pot fi grupate astfel: prelucrarea în stare vâscoasă (presare, turnare, extrudare); prelucrarea în stare elasto-plastică (pneumatic, prin formare în matriţe, cu ajutorul vidului); prelucrarea din stare lichidă; prelucrarea în stare solidă prin ştanţare, aşchiere; realizarea de îmbinări nedemontabile prin sudare, lipire; prin alte metode de prelucrare (aglomerare, pulverizare etc.).

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Metode de prelucrare în stare vâscoasă

Marea majoritate a maselor plastice se prelucrează prin presare, prin transfer sau extrudare.

Prelucrarea prin presare directă este metoda tipică de transformare în piese a maselor plastice termorigide, *Figura 8.3*.

În *cavitatea matriţei 3*, încălzită cu un sistem electric se introduce *doza de masă plastică* (granule, pastile etc.) *2*. Prin închiderea formei, *poansonul 1* exercită presiune asupra materialului. Sub acţiunea temperaturii şi presiunii, masa plastică se înmoaie şi umple bine detaliile cavităţii formei. După o anumită menţinere, necesară întăririi masei plastice, forma se deschide şi *extractorul 5* elimină *piesa obţinută 4*.

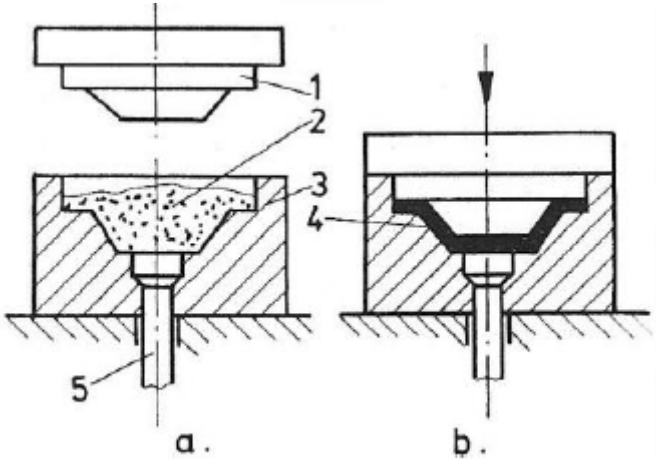


Figura 8.3. Schema presării în matriţă:

Procesul de întărire este însoţit de evaporarea apei şi substanţelor volatile. Pentru eliminarea gazelor, se pune după o anumită menţinere presa pe sens invers şi se ridică poansonul cu 5÷10 mm şi se menţine în această poziţie 2÷3 secunde după care matriţa se închide din nou, pentru piesele cu pereţi groşi această operaţie fiind făcută de două ori.

Temperatura şi presiunea de lucru depind de natura materialului, forma şi dimensiunile piesei, iar timpul de menţinere

depinde de viteza de întărire şi grosimea semifabricatului sau piesei. În general, pentru masele plastice termorigide, timpul de menţinere este de 0,5÷2 minute pentru 1 mm grosime de perete. Timpul de fabricaţie se poate micşora prin încălzirea materiei prime în dulapuri, înainte de presare.

Matriţele se fabrică din materiale rezistente la coroziune şi temperatură, cum ar fi: oţelul, bronzul de mare rezistenţă şi chiar din unele fenoplaste. Încălzirea matriţelor se realizează cu dispozitive electrice care pot asigura un control al temperaturii în proces.

Doza de masă plastică introdusă în cavitatea matriţei se asigură cu dozatoare de volum sau de masă şi chiar cu bucata, prin numărul necesar de pastile sau tablete.

Presarea se face pe prese hidraulice, în ciclu automat. Prin presarea simplă se obţin piese de formă geometrică de complexitate medie şi dimensiuni mijlocii, din mase plastice termorigide şi umplutură de pulbere sau fibre. Presarea la rece se face pentru termoplaste, la 140÷210 daN/cm^2, cu viteze mari, dar nu se asigură suprafeţe lucioase produselor.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Metode de prelucrare în stare vâscoasă

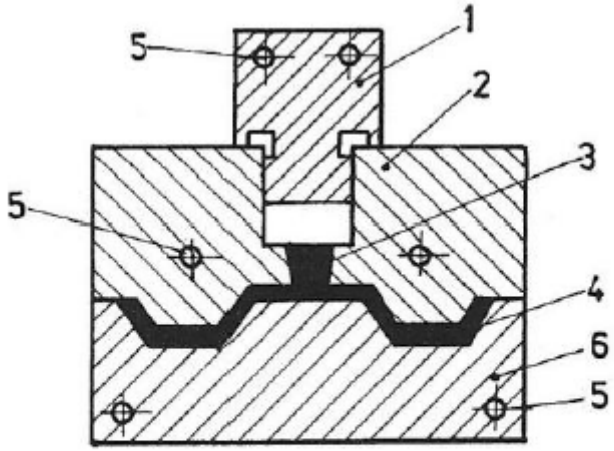


Figura 8.4. Schema presării prin transfer:
1 – poanson; 2 – semimatriţă superioară; 3 – canal de transfer; 4 – piesa; 5 – element de încălzire; 6 – semimatriţă inferioară.

Prelucrarea prin presare cu transfer. Se deosebeşte de presarea simplă (directă) prin faptul că doza de masă plastică nu se încarcă direct în cavitatea activă, ci într-o cameră alăturată, *Figura 8.4*.

Metoda foloseşte presiuni de trei ori mai mari decât la presarea directă şi se aplică mai ales maselor plastice termorigide şi mai rar celor foarte rigide (policlorura de vinil rigidă). Fabricaţia se face cu pierdere de material, matriţele din oţel scump, cromat pe suprafaţa activă a cavităţii.

Prin presare se pot obţine şi plăci multistrat. Ţesăturile de bumbac sau sticlă se îmbibă cu răşină şi se aşează una peste alta între plăcile calde de presare. Numărul de straturi se determină în funcţie de grosimea produsului şi este limitat de puterea presei hidraulice. Ţevi şi bare rotunde sau fasonate se pot obţine prin presarea termorigidelor în forme cu orificii calibrate. Metoda de presare este totuşi de slabă calitate.

Prelucrarea cu presare prin injecţie, este de mare productivitate şi se pretează la producţia de masă din termoplaste.

În acest caz, materia primă din *buncărul de încărcare 8*, *Figura 8.5*, este introdusă cu ajutorul *dozatorului 9* în *cilindrul de lucru 6* încălzit cu *rezistenţă electrică 4*. La deplasarea *pistonului 7*, doza de material este împinsă în zona de încălzire şi materialul topit, prin *ajutajul* (düza) *3* şi canalul de injecţie intră în *cavitatea matriţelor 1*, realizându-se după întărire *piesa 2*. *Deflectorul 5* uniformizează încălzirea prin faptul că dispune materialul sub forma unui cilindru cu pereţi subţiri mai uşor de încălzit. Dacă forma se încălzeşte peste 50÷70°C, atunci se prevede şi un sistem de răcire cu apă.

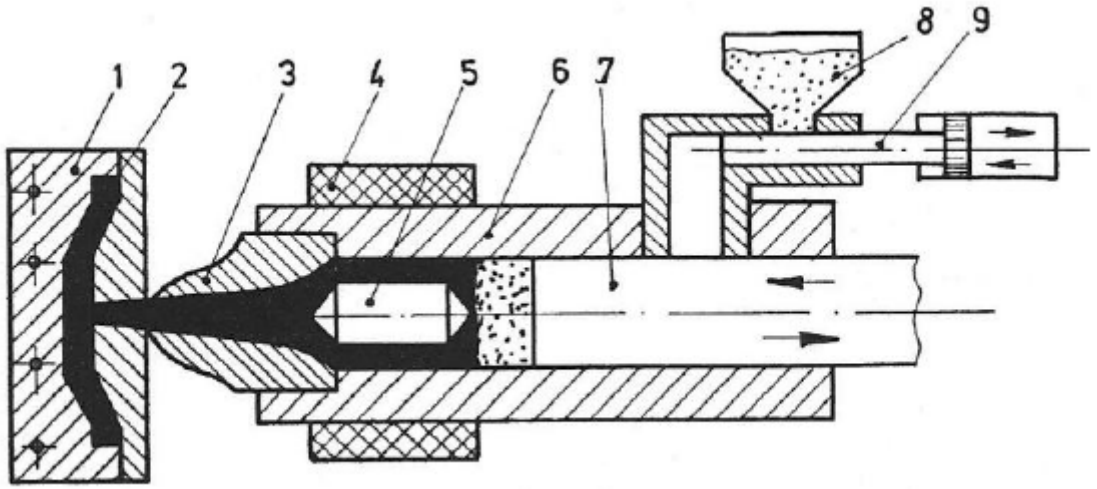


Figura 8.5. Schema presării prin injecţie:

Prin această metodă se pot obţine piese de configuraţie complexă, cu grosimi variabile de perete, cu filete. Metoda se pretează automatizării, asigurându-se productivităţi de 20÷40 ori mai mari decât la presarea directă.

Ca un caz particular, se poate folosi şi **turnarea centrifugală** din stare lichidă pentru piese de gabarit mare şi cu pereţi subţiri din termoplaste, cum sunt: inele; roţi de curea; roţi dinţate etc. şi lucrează după aceleaşi principii de la turnarea centrifugală a aliajelor metalice.

Prelucrarea prin extrudare se caracterizează prin continuitate şi bună productivitate în prelucrarea termoplastelor. Pe una şi aceeaşi maşină, schimbând numai profilul capului de extrudare, a găurii din matriţă, se pot obţine produse de o mare varietate a formei geometrice în secţiune transversală, *Figura 8.6.*

Extrudarea se realizează pe maşini cu *ax melcat 2*, unde materia primă este împinsă în *zona de încălzire 4* şi prin *sistemul poanson 5 – matriţă 6* este forţată să treacă prin orificiul matriţei, obţinându-se diversele profile, *Figura 8.6(b).*

Calandrarea, se aplică în scopul obţinerii foilor şi foliilor de mase plastice, prin folosirea unor calandre, *Figura 8.7.*

Procesul constă în trecerea masei plastice încălzite prin mai multe perechi de cilindri (calandre) încălziţi, împreună cu diverse ţesături. Se pot obţine produse cu grosimi de la câteva sutimi de milimetru.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Metode de prelucrare în stare vâscoasă

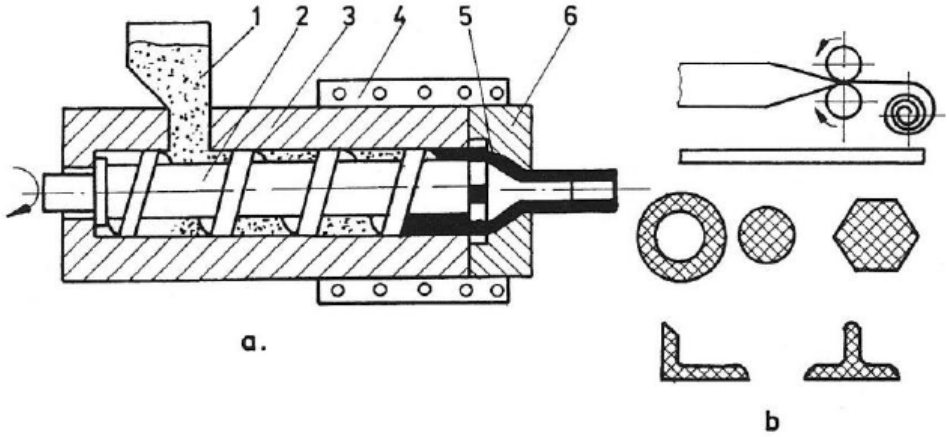


Figura 8.6. Schema extrudării maselor plastice:
a – schema maşinii; b – profile de piese; 1 – buncăr; 2 – ax melcat; 3 – cilindru de lucru; 4 – sistem de încălzire; 5 – dorn; 6 – matriţă.

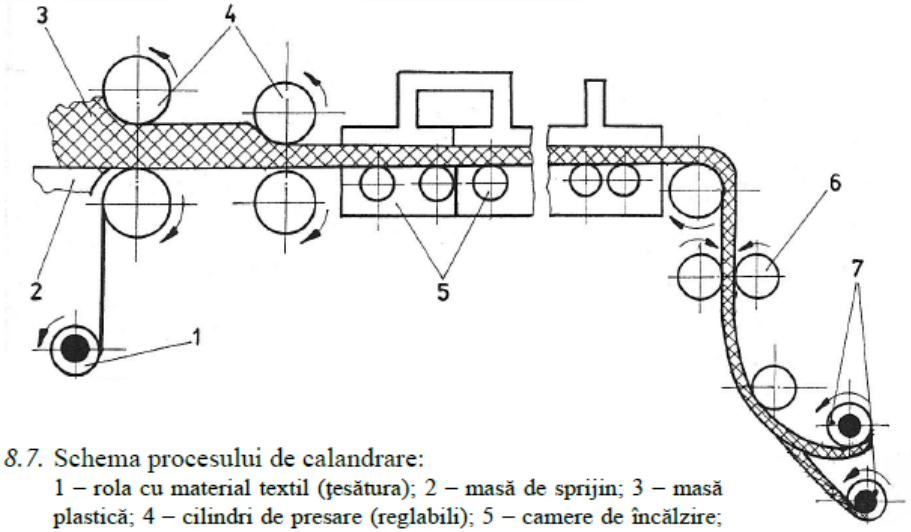


Figura 8.7. Schema procesului de calandrare:
1 – rola cu material textil (ţesătura); 2 – masă de sprijin; 3 – masă plastică; 4 – cilindri de presare (reglabili); 5 – camere de încălzire; 6 – role pentru debitare; 7 – role cu material plastic pe suport textil.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Metode de prelucrare în stare vâscoasă

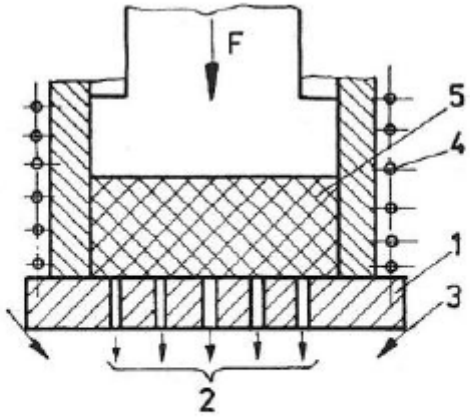


Figura 8.8. Schema filării:
1 – filieră; 2 – fire; 3 – sistem de răcire;
4 – sistem de încălzire; 5 – masă plastică.

Prelucrarea prin filare, asigură obţinerea firelor din masă plastică, care în esenţă este un proces de extrudare, *Figura 8.8*, care se desfăşoară în două etape.

În prima etapă se presează masa plastică înalt plastifiată prin orificiile filierei (cu diametre foarte mici) şi întărirea firelor prin răcire, iar în etapa a doua, are loc procesul etirării, adică a întinderii la tracţiune pentru a creşte rezistenţa firelor, prin orientarea paralelă a macromoleculelor.

Turnarea maselor plastice se aplică în cazul monomerilor lichizi care polimerizează în forma de turnare.

Sudarea maselor plastice, se aseamănă sudării metalelor şi se aplică termoplastelor. Sudarea se face cu sau fără material de adaos. Cu material de adaos se aplică în cazul sudării unor materiale mai groase, încălzirea făcându-se cu suflai cu aer cald la 470 K, *Figura 8.9(a)*.

Fabricarea pieselor din mase plastice

Metode de prelucrare în stare vâscoasă

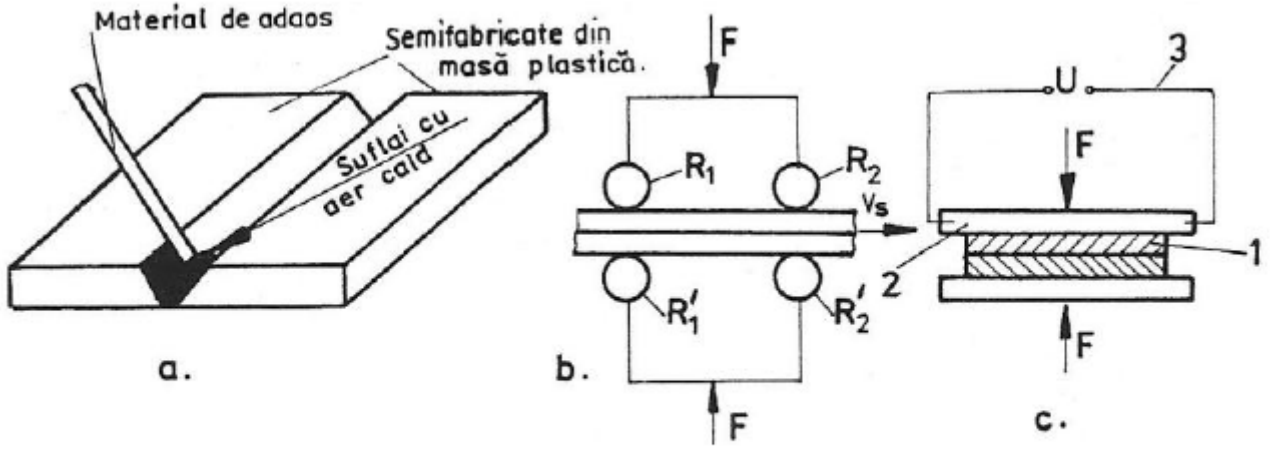


Figura 8.9. Scheme de sudare a maselor plastice:
a – cu material de adaos; b – fără material de adaos; c – cu fir incandescent;
R_1, R_1' – role calde; R_2, R_2' – role reci; v_s – viteza de sudare;
1 – mase plastice; 2 – sistem de presare; 3 – sârmă – rezistenţă electrică.

În cazul materialelor subţiri, sudarea se face fără material de adaos, prin mai multe metode: cu role, *Figura 8.9(b)*; cu fir incandescent, *Figura 8.9(c)*.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Fabricarea pieselor din mase plastice compuse

Cel mai favorabil din punct de vedere tehnologic ar fi să se utilizeze acele mase plastice care la temperaturi normale sunt în stare lichidă, ceea ce ar asigura obţinerea unor produse de mare gabarit.

Masa plastică compozit este alcătuită din răşină liant şi umplutură şi în unele cazuri se adaugă şi catalizatori sau acceleratori de întărire. De regulă, se folosesc răşinile epoxidice care au o bună capacitate de a adera la umplutură şi se întăresc repede la temperatură normală prin adaos de întăritori cum sunt: peroxid de benzoil $(C_6H_5CO)_2 \cdot O_2$, de cobalt, polietilpoliamină etc.

Rezistenţa compozitelor plastice depinde de umplutura folosită (ţesătură de sticlă, fibre de sticlă, de bumbac, fibre de metal – reţele şi sârme, fibre de carbon şi bor etc.). În anumite cazuri se introduc şi plastifianţi şi vopsele.

Dintre procedeele de fabricaţie a pieselor în construcţia de maşini din aceste materiale, se pot aminti următoarele: formarea în matriţe; formarea în autoclave; formarea prin pulverizare; formarea centrifugală; formarea prin înfăşurare etc.

Formarea în matriţe se recomandă pentru piese de mare gabarit, cu umplutură de ţesături de sticlă, sticlă mată, iar formele (matriţele) se fac din lemn, gips şi aliaje uşoare.

Înainte de formarea propriu-zisă, pe suprafaţa activă a formei se încarcă un strat subţire cu material care să împiedice lipirea (nitrolac, polivinil în spirt, peliculă sau folie de celofan). Peste aceasta se încarcă apoi liantul (răşina) şi în continuare, ţesătura croită (umplutura), care se rulează cu o rolă de cauciuc pentru a mula totul perfect la suprafaţa cavităţii formei, după care se reia din nou ciclul (răşină – umplutură – rulare) într-un număr necesar antedeterminat, până la obţinerea grosimii peretelui produsului fabricat.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Fabricarea pieselor din mase plastice compuse

Timpul de întărire, după natura răşinii, este la temperatura ambiantă între 5 şi 50 ore, timp care se poate scurta prin încălzire la 60÷120°C. În continuare, produsul se scoate din formă, se taie marginile, se vopseşte etc.

Avantajul net al metodei constă în faptul că necesită utilaje simple şi se pot obţine produse de orice formă şi dimensiuni. Totuşi, metoda are o mică productivitate, se foloseşte pentru experimentări şi serie mică iar produsele nu sunt de calitate deosebită.

Formarea în autoclave, se recomandă pentru producţia de serie mare. Forma cu detaliul de masă plastică se acoperă cu o membrană (covor) de cauciuc şi se introduce într-o autoclavă ermetic închisă. În autoclavă se creează o presiune de lucru cu ajutorul aburului sau apei şi semifabricatul mulează la suprafaţa formei.

Fabricarea unor piese cu cavităţi interioare închise, din materii plastice compozit, cum sunt rame, discuri, suporţi de mari dimensiuni, folosind umplutură în fibre lungi. Într-o formă de presare, încălzită la 100÷120°C, pe un strat subţire de policlorură de vinil se aşează fibrele de umplutură. Sub acţiunea aerului comprimat, încălzit în interiorul unui furtun, semifabricatul se întinde până la dimensiunile cavităţii pres-formei. În spaţiul dintre folia de policlorură de vinil şi formă, pe măsura creării vacuumului pătrunde răşina. Dacă se folosesc fibre scurte ca umplutură, atunci alimentarea sau încărcarea formei se poate face direct cu aer comprimat.

Fabricarea prin pulverizare, se recomandă pentru piese de mare gabarit din mase plastice cu fibre de sticlă, cum sunt: caroserii pentru automobile grele şi uşoare; corpuri de ambarcaţiune – bărci; rezervoare etc.

Fabricarea pieselor din mase plastice

Fabricarea pieselor din mase plastice compuse

Pe suprafaţa formei, fibrele de sticlă, răşina şi catalizatorii sunt încărcate cu aer comprimat prin pulverizare. Răşina umectează fibrele de sticlă în curentul de pulbere format de aerul comprimat. Amestecul de fibre şi răşină depus pe suprafaţa pres-formei este compactat cu ajutorul unor role.

O instalaţie de lucru este alcătuită astfel, din următoarele părţi: instalaţie de tocat fibrele de sticlă; ventilator pentru alimentare cu aer comprimat; pulverizator şi rezervor de răşină (liant), catalizatori sau acceleratori de întărire.

Fibrele de sticlă se taie la lungimi de 10÷90 mm. Pulverizatorul are trei ajutaje (duze): cel central pentru fibrele de sticlă; două laterale, unul pentru liant şi catalizator, al doilea pentru liant şi accelerator de întărire.

Amestecarea componentelor se face direct pe suprafaţa formei sau înainte de jetul de pulverizare.

Formarea centrifugală, de asemenea, se utilizează pentru piese de mari dimensiuni, cu forme de revoluţie, cu grosime de 2÷15 mm, diametru de până la 1 m şi înălţime de până la 3 m.

Fibrele de sticlă tocată şi răşină se introduc simultan în forma în mişcare de rotaţie. După formare, în formă se introduce o pungă (sac) de cauciuc prin intermediul căruia se creează o presiune asupra stratului depus şi se menţine în această stare toată perioada de întărire.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea pieselor din mase plastice

Fabricarea pieselor din mase plastice compuse

Fabricarea prin înfăşurare serveşte la fabricaţia tuburilor şi carcaselor complexe din mase plastice compozit. Pe un suport metalic se încarcă o peliculă (folie) de desprindere uşoară a produsului la sfârşitul fabricaţiei. Se pot realiza stratificări prin rotaţie sau mişcare rectilinie alternativă. Fibrele sau ţesătura se îmbibă cu răşină, *Figura 8.7*. Semifabricatul format se acoperă cu peliculă de celofan şi se introduce în camera de întărire-solidificare. Singurul neajuns este productivitatea scăzută care nu poate fi mărită decât prin automatizare.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc

Caracterizarea pieselor fabricate din cauciuc

Ca materie primă de bază sa foloseşte cauciucul natural sau sintetic. Cauciucul natural provine de la unele specii de arbori de cauciuc sau planta de cauciuc, iar cel sintetic se bazează pe petrol şi produse petroliere, gaze naturale etc.

Cauciucul natural simplu, în industrie nu se foloseşte, este supus vulcanizării cu ajutorul sulfului. Procentul de sulf imprimă şi proprietăţile, deosebindu-se cauciuc moale cu 1÷3% sulf şi cauciuc tare (ebonita) cu până la 30% sulf.

Vulcanizarea se poate face la cald sau la rece, iar pentru a reduce consumul de cauciuc şi a îmbunătăţi proprietăţile fizico-mecanice şi de exploatare a produselor de cauciuc, în compoziţie se mai introduc şi alte componente.

Umplutura poate fi sub formă de pulbere sau de ţesături. Sub formă de pulbere se folosesc: negru de fum; talc; cretă etc., iar sub formă de ţesături: de bumbac; de mătase etc. Uneori, pentru armare şi creşterea rezistenţei se folosesc sârme de oţel sau plase, ţesături de sticlă sau capron. Se adaugă şi emolienţi (parafină, stearină etc.) pentru a asigura o bună amestecare a componentelor reţetei de cauciuc tehnic şi pentru a asigura rezistenţa la ger (frig). Pentru atenuarea oxidării în amestecurile de cauciuc se introduc antioxidanţi care se opun acestui proces, cum sunt: vaseline; amine; aromatice etc., iar pentru accelerarea vulcanizării se introduce în amestec oxidul de zinc. Coloranţii se introduc până la 10% din masa cauciucului şi pot fi din ocru, ultramarin, pentasulfură de antimoniu (Sb_2S_5) etc.

Prin proprietăţile sale deosebite, cum sunt: înaltă elasticitate; tendinţă mare de revenire elastică; rezistenţă la substanţele chimice active; o permeabilitate scăzută la gaze şi apă; o bună comportare dielectrică, cauciucul a căpătat o largă utilizare în diversele ramuri ale economiei naţionale. Astfel, în construcţia de maşini se întâlnesc foarte multe piese şi articole din cauciuc: curele de transmisie; furtunuri pentru gaze şi lichide; inele şi garnituri de etanşare; manşoane; tampoane; amortizoare; benzi transportoare etc.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc

Procedee tehnologice de fabricare a pieselor de cauciuc

Procesul tehnologic de fabricare a articolelor tehnice de cauciuc este alcătuit din următoarea succesiune logică a operaţiilor: pregătirea; prepararea amestecului de cauciuc; formarea piesei; vulcanizarea.

Procesul de preparare presupune o bună amestecare a componentelor reţetei de cauciuc tehnic.

Înainte de amestecare, cauciucul este supus plastifierii, prin trecerea sa printre valţuri speciale preîncălzite până la temperatura de 40÷50°C. În această stare plastică se obţine o bună capacitate a cauciucului de a se amesteca cu celelalte componente. Amestecarea se face în amestecătoare cu melc sau cu valţuri, adăugându-se mai întâi substanţele împotriva îmbătrânirii şi apoi vulcanizatorii şi acceleratorii de vulcanizare.

Produsele pe bază de cauciuc, în funcţie şi de destinaţia lor, se pot fabrica prin diverse metode: calandrare; extrudare; presare; turnare sub presiune; prin înfăşurare etc., multe din procedee fiind identice cu cele de la prelucrarea meselor plastice.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc

Procedee tehnologice de fabricare a pieselor de cauciuc

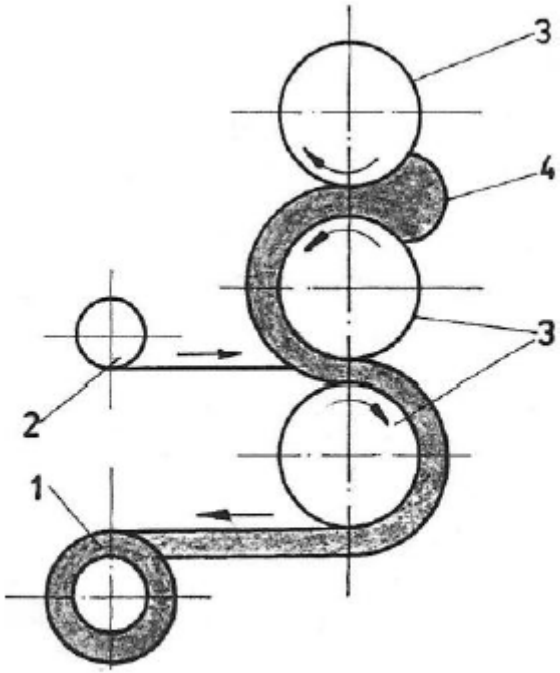


Figura 8.10. Schema obţinerii unor ţesături impregnate cu cauciuc:

Calandrarea se utilizează în cazul plăcilor, foliilor benzilor şi produselor stratificate. Operaţia se realizează multivalţ sau calandre. Valţurile sunt prevăzute cu sistem de încălzire sau răcire interioară, ceea ce poate asigura (regla) o anumită temperatură de regim. Coala de cauciuc obţinută prin laminare între calandre se înfăşoară apoi în rulouri şi serveşte ca semifabricat pentru alte produse pe bază de cauciuc. Pentru a nu se lipi în rulou se presară talc sau cretă la ieşirea din calandru.

În procesul de obţinere a ţesăturilor impregnate cu cauciuc, în spaţiul dintre valţuri, *Figura 8.10*, se trece simultan *amestecul plastifiat 4* şi *ţesătura 2*. Pentru aceasta, *valţul 3* din mijloc se roteşte cu o viteză mai mare decât cel inferior, asigurându-se o puternică frecare între amestec şi ţesătură. Grosimea peliculei de cauciuc pe ţesătură se reglează variind jocul dintre valţuri. Se pot obţine şi semifabricate multistrat. Ţesătura obţinută se înfăşoară pe toba *1* şi apoi se vulcanizează.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc

Procedee tehnologice de fabricare a pieselor de cauciuc

Prelucrarea prin extrudare se aplică pentru obţinerea de produse profilate ca tuburi, bare, profile, pe maşini cu melc, la fel ca la prelucrarea maselor plastice. Metoda serveşte şi pentru îmbrăcarea cablurilor şi conductorilor electrici.

Prelucrarea prin presare este metoda de bază în ce priveşte obţinerea de produse fasonate (manşoane, curele trapezoidale, garnituri de etanşare etc.). Presarea se poate face la cald sau la rece.

Presarea la cald presupune umplerea cu amestec a cavităţii matriţei şi presarea cu ajutorul unor plite încălzite electric la o presă hidraulică, temperatura de presare fiind de 140÷155°C. De regulă, se execută simultan presarea cu vulcanizarea. Produsele de mare rezistenţă, cum ar fi curelele trapezoidale, se vulcanizează şi suplimentar în instalaţii speciale în pachete.

Presarea la rece se execută pe amestecuri de tip ebonită, pentru obţinerea unor corpuri de acumulatori, piese în industria chimică, după presare executându-se vulcanizarea pe baza introducerii în amestec a unui procent de până la 30% sulf. Ca umplutură se pot folosi diverse deşeuri din materiale şi produse din ebonită.

Turnarea sub presiune se aplică pentru obţinerea de piese cu forme complexe. Amestecul de cauciuc intră sub presiune la o temperatură de 80÷120°C, ceea ce scurtează foarte mult şi ciclul de vulcanizare.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Fabricarea articolelor tehnice din cauciuc

Procedee tehnologice de fabricare a pieselor de cauciuc

Vulcanizarea este operaţia fundamentală de fabricaţie a pieselor şi articolelor tehnice de cauciuc şi se efectuează în camere speciale (vulcanizatori) la temperatura de 120÷150°C, în atmosferă de vapori de apă saturaţi la o presiune nu prea mare.

În proces are loc reacţia chimică dintre cauciuc şi sulf, când molecula liniară de cauciuc se transformă în reţea, ceea ce micşorează plasticitatea, creşte rezistenţa la acţiunea agenţilor organici, măreşte rezistenţa mecanică.

În producţia de serie mare şi masă se impune ca toate operaţiile să fie mecanizate şi automatizate.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice şi de proiectare la fabricarea pieselor din materiale compozit

Caracteristicile de rezistenţă şi calitate ale pieselor din materiale compozit, depind în mare măsură de forma constructivă. Din acest punct de vedere, constructiv, trebuie să se ţină cont de următoarele recomandări:

- să se proiecteze o formă cât mai simplă atât din punct de vedere al exploatării, cât şi al tehnologiei de fabricaţie, cu luarea în consideraţie şi a eficienţei economice. Cu cât forma geometrică a piesei este mai simplă, cu atât deşeurile de fabricaţie vor fi mai reduse, costurile mai mici, productivitatea muncii mai ridicată, precizia şi calitatea mai bune;

- dimensiunile de gabarit trebuie să ţină cont de puterea utilajelor (prese, maşini de turnare etc.);

- la piesele cu mare rigurozitate în ce priveşte precizia trebuie să se prevadă adaosurile tehnologice de prelucrare prin aşchiere;

- să se elimine din forma geometrică bosajele, intrândurile, fantele şi găurile perpendiculare pe direcţia de presare, *Figura 8.11(a)*, asemenea detalii să aibă axa paralelă cu direcţia presării;

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice şi de proiectare la fabricarea pieselor din materiale compozit

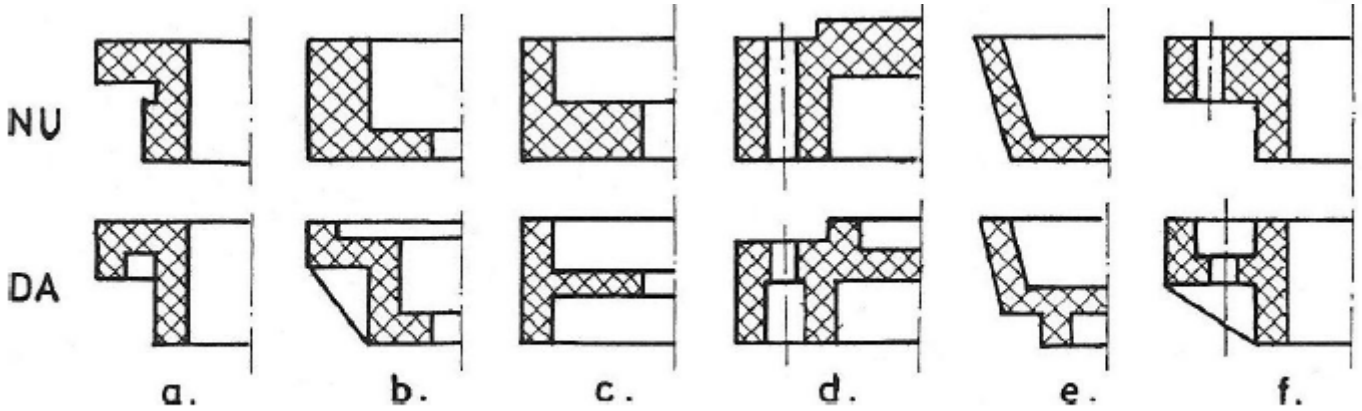


Figura 8.11. Exemple constructive de piese din mase compozit:
NU – netehnologice; DA – tehnologice.

▪ pentru combaterea efectului de contracţie, pereţii nu se fac cu mare diferenţă de grosime, această diferenţă să nu depăşească 1:3, în caz contrar, contracţia frânată şi în special pe miez poate duce la deformaţii şi crăpături, *Figura 8.11(b, c, d)*. În funcţie de dimensiunile de gabarit, natura materialului, grosimea optimă de perete este de 0,5÷5 mm, iar raza minimă de racordare este de 0,5÷2 mm;

▪ găurile în piese turnate sau presate se dau cu ajutorul miezurilor montate în formă, dar acestea frânează contracţia. Găurile nu se plasează în părţi masive ci în detalii speciale cu pereţi subţiri, *Figura 8.11(d, e)*;

▪ în piesele din material compozit se pot fabrica direct filete interioare şi exterioare. Pentru filete, diametrul minim este de 2,5 mm la termoplaste şi 4 mm la fibroase (stratificate). La piesele din compozite cu pulberi, filetul se realizează prin aşchiere;

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice şi de proiectare la fabricarea pieselor din materiale compozit

- pentru a micşora consumul de material, pereţii masivi se înlocuiesc cu pereţi subţiri întăriţi cu nervuri, grosimea nervurii fiind identică cu grosimea peretelui de bază a piesei, *Figura 8.11(b, f)*. Pentru piesele mici, rolul peretelui de nervură îl joacă mici ieşinduri sau scobituri;
- la piesele de mare gabarit, pereţii simpli sunt înlocuiţi cu suprafeţe cu guler, cu bordură, *Figura 8.11(e)*;
- pentru extragerea uşoară din forme, trebuie prevăzute înclinări corespunzătoare pe suprafeţele interioare şi exterioare;
- nu se admit conicităţi inverse;

O largă aplicabilitate au căpătat-o materialele compozit cu armătură metalică şi mase plastice sau cauciuc. În acest sens, trebuie amintită fabricarea unor piese importante în industria electro şi radiotehnică, prin presare şi turnare, cum sunt riglete, panouri etc., care reduc de 10÷100 ori manopera, faţă de execuţia pe repere şi asamblare. Armătura conduce la creşterea preciziei şi calităţii pieselor. Această armătură se prezintă sub formă de şurub, piuliţă, scoabe, cleme, degajări etc., care sunt cuprinse de material şi nu se deplasează sau rotesc în exploatare, *Figura 8.12*.

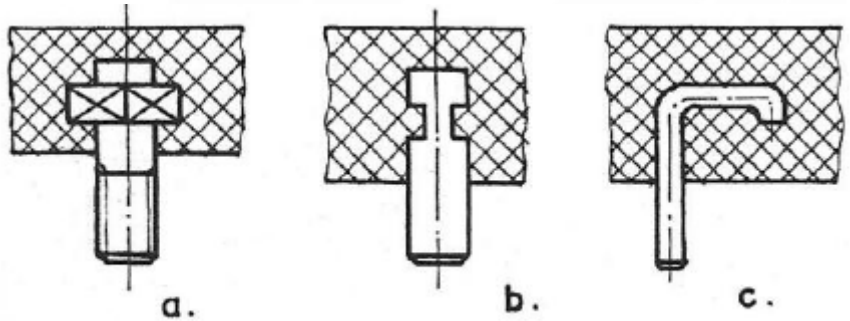


Figura 8.12. Scheme de armare a pieselor.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice privind prelucrarea mecanică a pieselor din materiale compozit

Obţinerea de piese din mase sau materiale de tip compozit se realizează, de regulă, ca produse finite, după forma geometrică a formei de presare şi turnare şi la care nu se mai execută prelucrări mecanice suplimentare.

În anumite cazuri însă, unele detalii se realizează prin prelucrări mecanice ulterioare sau piesele se obţin prin prelucrări mecanice în întregime din semifabricate-compozit sub formă de plăci, tuburi, bare, profile de secţiuni şi dimensiuni diverse.

Dintre metodele prelucrării mecanice, în principal, se desprind ştanţarea şi prelucrarea prin aşchiere.

Prin ştanţare, operaţii fundamentale de prelucrare sunt cele de decupare, perforare şi tăiere (retezare). Ştanţarea se face cu sau fără încălzire, pe prese mecanice sau hidraulice.

Prelucrarea prin aşchiere (strunjire, găurire, frezare, tăierea filetului etc.) se aplică atunci când detaliile respective nu se pot obţine la forma şi dimensiunile necesare direct din presare sau turnare.

Dacă porozitatea materialului este sub 5%, prelucrarea se realizează în bune condiţii. Dacă însă porozitatea depăşeşte 5%, atunci apar modificări, aşchia se fragmentează, apar vibraţii, apar suprasarcini (şocuri), scade durabilitatea sculelor.

La prelucrarea materialelor poroase, trebuie folosite scule de aşchiere bine ascuţite, regimuri de aşchiere cu viteze mari şi avansuri mici. Nu se recomandă folosirea lichidelor obişnuite de răcire, întrucât acestea pătrund în pori şi provoacă coroziune. Îmbibarea cu ulei a porilor nu este recomandată, deoarece uleiul arde în procesul de aşchiere şi produce mult fum.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice privind prelucrarea mecanică a pieselor din materiale compozit

Tăierea filetului se face cu scule din aliaje dure, cu un unghi de aşezare α de două ori mai mare decât la aşchierea oţelurilor de construcţie. Nu se admite rectificarea cu discuri abrazive, întrucât praful abraziv pătrunde în pori.

La prelucrarea maselor plastice compozit pe bază de polimeri, se distruge stratul superficial de răşină şi atunci trebuie luate măsuri speciale. Masele plastice au o rezistenţă scăzută faţă de metal şi prin urmare, se poate mări în mod corespunzător viteza de aşchiere. În acelaşi timp însă, datorită conductivităţii termice scăzute, prin aşchiere şi frecare se degajă o mare cantitate de căldură în zona de aşchiere, provocând încălzirea sculei, înmuierea şi topirea termoplastelor, arderea termorigidelor. La prelucrarea termoplastelor nu trebuie să se depăşească temperatura de 120÷160°C.

Uzura sculei este neglijabilă în prelucrarea termoplastelor fără umplutură. La prelucrarea termorigidelor, în special cu umplutură de sticlă, uzura sculelor creşte foarte mult. Astfel, semifabricatele din termoplaste se pot prelucra cu scule aşchietoare din oţel carbon de scule şi oţeluri rapide.

Materialele cu acţiune abrazivă (cu umplutură) se prelucrează cu scule armate cu plăcuţe dure din aliaje dure, almaz etc.

La prelucrarea termorigidelor cu umpluturi fibroase sau stratificate nu se folosesc lichide de răcire, deoarece produc umflarea materialului în stratul de suprafaţă. O prelucrare de calitate se poate face numai cu scule bine ascuţite, cu viteze mari, cu adâncime şi avans de aşchiere mici. Cuţitele aşchietoare au unghiul de aşezare şi de degajare mai mari decât la aşchierea oţelului

Pentru prelucrarea maselor plastice se folosesc maşini unelte universale şi speciale.

La produsele de cauciuc, de regulă, nu se execută operaţii suplimentare de aşchiere, cel mult din foi se fabrică rondele, şaibe prin decupare.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice privind prelucrarea mecanică a pieselor din materiale compozit

Grundurile, vopselele, lacurile şi emailurile sunt materiale fluide care se aplică pe suprafaţa pieselor (metalică sau nemetalică) prin vopsire, în scop decorativ sau de protecţie (împotriva atmosferei, coroziunii, radiaţiei solare, schimbării temperaturii etc.).

În principiu, aceste materiale se compun din următoarele părţi de bază:

- *liantul*, care dă peliculă continuă după uscare şi este alcătuit din substanţe organice dizolvate într-un solvent. Ca liant se foloseşte uleiul vegetal, derivaţi celulozici, răşini naturale sau sintetice etc.;
- *pigmenţii*, care sunt substanţe organice sau anorganice care dau culoarea şi măresc rezistenţa peliculei;
- *solvenţii*, care sunt substanţe organice volatile în care se dizolvă lianţii şi pot fi acetona, alcoolul metilic, xilenul, toluenul, white-spirtul, terebentina, solvenţii fiind ordonaţi în sensul descreşterii capacităţii de volatilizare.

În afară de componenţii de mai sus, se mai pot adăuga după caz diluanţi, sicativi, stabilizatori, antioxidanţi, agenţi de dispersie.

Grundurile sunt materiale de protecţie, formate dintr-o substanţă peliculogenă, cu suspensie de pulbere fină metalică de Zn sau Pb. Cu aceste materiale se realizează protecţie anticorozivă catodică a metalelor feroase în apa de mare, în atmosferă, coroziunea afectând numai pigmentul metalic.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Particularităţi tehnologice privind prelucrarea mecanică a pieselor din materiale compozit

Chiturile sunt materiale utilizate pentru umplerea porilor, cavităţilor sau la netezirea suprafeţelor grunduite. Ele se aplică cu şpaclul sau prin stropire (cu pistol), după uscare se întăresc şi pot fi şlefuite. Nu se aplică în cazul acoperirilor deoarece înrăutăţesc proprietăţile mecanice şi de anticoroziune.

Vopselele sunt suspensii de pigmenţi în substanţe peliculogene, dând pelicule colorate sau mate şi semilucii. Vopselele pot fi de ulei, emulsionabile sau cu lianţi solubili în apă.

Lacurile, materiale peliculogene, sunt transparente sau slab colorate. Se fabrică pe bază de ulei de răşini, de derivaţi celulozici etc. După uscare se şlefuiesc şi se lustruiesc cu paste speciale.

Emailurile sunt lacuri pigmentate cu sau fără alte adaosuri, care formează după uscare pelicule dure cu aspect neted sau lucios şi pot fi de ulei sau de nitroceluloză.

Ca metode tehnologice de aplicare a materialelor de mai sus pe suprafeţele pieselor se pot arăta:

- prin vopsire manuală, cu pensula;
- prin pulverizare, cu pistolul cu aer comprimat;
- prin imersie în băi;
- prin pulverizare în câmp electrostatic (vopsire electrostatică);
- vopsire prin curgere sau după principiul electroforezei, când se obţin pelicule de 25÷35 μm.

Înainte de vopsire, materialul suport (piesa) trebuie să fie bine curăţat pentru a asigura o bună aderenţă a materialului aplicat.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Produse din lemn

Materialele lemnoase sunt substanţe organice fibroase, cu structură capilaro-poroasă, cu până la 60% celuloză şi restul lignină, substanţe tanante, apă etc.

Celuloza sub formă de fibre cu lungimi variabile (3,8 mm la conifere şi 1,5 mm la foioase) formează fibra lemnoasă.

În secţiune transversală, lemnul prezintă trei zone: cea centrală (inima sau măduva) din celule mari friabile, zona intermediară din inele anuale (stratificări) şi scoarţa, ca strat de protecţie.

Proprietăţile mecanice ale lemnului depind de structura fibroasă-anizotropă, de tipul esenţei, de gradul de uscare, de vârsta arborelui şi locul din tulpină.

În ţara noastră, umiditatea admisă este de maximum 15% (având în vedere clima), iar densitatea variază în funcţie de esenţă de la 0,45 Kg/dm^3 la brad la 0,89 Kg/dm^3 la ulm.

Îmbunătăţirea proprietăţilor mecanice ale lemnului se poate face prin anumite metode de pregătire preliminară ca uscare, aburire, impregnare cu antiseptice, ignifugare etc.

În industria lemnului se utilizează diverse forme, cum sunt lemnul natural şi lemnul stratificat.

Lemnul natural, este lemnul de construcţie folosit ca lemn rotund (bile, manele, piloţi etc.), cherestea (scânduri, şipci, dulapi etc.), material pentru pardoseli (parchet) etc.;

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Produse din lemn

Lemnul stratificat, este un lemn ameliorat prin stratificare, impregnare, încleiere şi presarea furnirelor. Prin stratificare, impregnare şi presare se obţin materiale lemnoase omogene, cu o diminuare puternică a anizotropiei. Din categoria lemnului stratificat se desprind următoarele tipuri de materiale:

- *placajele*, care se obţin prin încleierea mai multor foi de furnire suprapuse şi care formează diverse unghiuri între fibraje (90°, 45°, 30°);
- *panele*, plăci de lemn din miez de şipci (rigle) acoperite pe ambele feţe cu furnir (structuri uşoare de rezistenţă);
- *lemnul stratificat nedensificat*, obţinut prin tratament piezotermic, folosit în aeronautică, industria chimică;
- *lemnul stratificat densificat*, obţinut tot prin tratament piezotermic, dar la presiuni mai mari decât la lemnul nedensificat. Acest lemn capătă proprietăţi mecanice superioare la solicitări de compresiune, întindere, încovoiere şi are bune proprietăţi dielectrice şi de antifricţiune;
- *lemnul bachelizat*, un lemn impregnat în soluţii alcoolice sau emulsii apoase ale răşinii fenolformaldehidice, când capătă stabilitate chimică, are bune proprietăţi electrice, se foloseşte la izolatori de joasă şi înaltă tensiune, se pretează la fabricarea roţilor dinţate, a bucşelor sau la realizarea matriţelor pentru ambutisarea aliajelor uşoare.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Produse din sticlă

Sticla este un material nemetalic, amorf, termoplast, obţinut prin topirea unui amestec, în a cărui reţetă intră:

- *vitrifianţi*, care formează osatura şi de regulă este silicea (SiO_2) sub formă de cuarţ sau nisip cuarţos foarte curat;
- *fondanţi*, cu rol de a coborî temperatura de topire şi obişnuit se folosesc Na_2O sau K_2O;
- *stabilizatori*, care măresc duritatea, rezistenţa mecanică şi stabilitatea chimică (MgO, PbO, Al_2O_3);
- *transparenţi*, anhidrida arsenioasă (As_2O_3), azotatul de potasiu (KNO_3) etc.;
- *opacizatori*, fluorură de calciu (CaF_2) etc.;
- *coloranţi*, oxizi ai diferitelor metale, pentru colorarea sticlei.

Dintre proprietăţile importante ale sticlei se deosebesc: vâscozitatea (de care depinde regimul termic de prelucrare şi viteza de fasonare a produselor din sticlă); densitatea (2,2÷6,3 g/cm^3); conductivitatea termică relativ mică; bun izolator electric; rezistă bine le compresiune, la întindere şi la percuţie mai slabă.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Produse din sticlă

Industrial, sticla se întâlneşte sub două forme: obişnuită (geamuri, oglinzi, sticlă armată etc.) şi tehnică (sticlă optică, sticlă filtrantă etc.).

Cea mai bună este sticla din silice, care are o mare rezistenţă la agenţi chimici, o bună stabilitate termică, coeficient de dilatare mic, rezistenţă la trecerea bruscă din zona temperaturilor înalte (900÷1000 K), în apă cu gheaţă, ceea ce face posibil ca această sticlă să fie folosită pentru articole şi piese optice, în aparatură chimică etc.

În industria automobilelor, se foloseşte sticla securizată, care prin spargere formează cioburi cu colţuri rotunjite. În acelaşi scop se întâlneşte şi sticla securizată de tip triplex, formată din două straturi de sticlă obişnuită lipite prin intermediul unei folii de celuloid sau vinilin.

De asemenea, din sticlă se fac şi unele emailuri pentru protecţia pieselor metalice de acţiunea agenţilor chimici sau a apei.

Prelucrarea sticlei se poate realiza prin următoarele procedee: turnare; laminare; tragere; suflare în matriţă; centrifugare şi presare, urmate de finisare prin polizare, lustruire, gravare etc.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Materiale refractare

Sunt de natură anorganică şi prezintă proprietăţi importante cum sunt refractaritate şi rezistenţă la şoc termic, rezistenţă mecanică la temperaturi înalte, stabilitate chimică şi dimensională. Dacă satisface aceste proprietăţi, atunci materialul refractar poate fi utilizat pentru căptuşirea agregatelor termice metalurgice, pentru elaborări şi tratamente termice.

Ca mod de livrare poate fi granule, cărămizi şi produse fasonate, iar din punct de vedere chimic pot fi acide, bazice şi neutre.

Produsele acide, au la bază cuarţul, nisipul cuarţos şi alumina. Dacă au 93÷96% SiO_2, se numeşte *silică* şi se foloseşte sub formă de cărămizi refractare la căptuşirea cuptoarelor cu flacără şi electrice. Dacă au sub 55% SiO_2, restul fiind alumină (Al_2O_3), materialul se numeşte *silicoaluminos* şi stă la baza construcţiei regeneratoarelor, cuptoarelor cu cocs, cuptoarelor pentru tratamente termice.

Produsele bazice, au în componenţă carbonaţi ($CaCO_3$, $MgCO_3$ etc.). Dacă MgO este între 91÷94% se numesc *magnezitice*. Dacă $CaCO_3$ este în pondere, se numesc *calcice*. Pentru a le mări rezistenţa la şoc termic se adaugă şi 26÷28% cromit de fier şi 7% minereu de fier, când se numesc *cromomagnezitice*. Se livrează sub formă de cărămizi şi stau la baza construcţiei vetrelor şi pereţilor cuptoarelor electrice şi Siemens-Martin.

Produsele neutre, alcătuite din acide şi bazice în mod corespunzător, pentru a atenua reacţia acidă dar şi bazică şi din care amintim *cromitul,* pentru izolarea bolţilor acide de pereţii bazici sau pentru vetrele cuptoarelor şi *şamotele*, care se utilizează sub formă fasonată sau granulată (pentru mortare).

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Materiale neconvenţionale

În baza unor statistici efectuate pe plan mondial, cu luarea în considerare a populaţiei la nivelul anilor '80, ţinând cont de necesităţile stricte de hrană, îmbrăcăminte, iluminat, mijloace de transport, alte produse utilizate de om, pe cap de locuitor s-a ajuns la un consum de 10÷20 tone de materiale anual, ceea ce la o populaţie de peste 4,5 miliarde cât are planeta, înseamnă 54÷90 miliarde tone materiale anual.

În aceste condiţii, mereu se va pune problema găsirii de noi materiale performante, care să reducă tonajul şi să atenueze consumul resurselor naturale.

La această problemă, nu pot să răspundă decât căutările ştiinţifice în domeniul noilor materiale neconvenţionale.

Într-o primă aproximaţie, prin material neconvenţional se înţelege un material cu o greutate specifică mai mică decât a fierului (7,8 daN/dm^3), materialul cel mai utilizat astăzi, şi să se apropie de greutatea specifică a maselor plastice (1,2 daN/dm^3), să posede o rezistenţă la rupere σ_r de 10000 N/mm^2, faţă de rezistenţa medie a oţelurilor de 400 N/mm^2, să-şi păstreze proprietăţile până la 3000°C, faţă de 550°C cât acceptă materialele convenţionale, să posede o rezistenţă electrică foarte scăzută (superconductibilitate), mai scăzută decât a cuprului, aluminiului, să posede o permeabilitate magnetică superioară tablei silicioase, caracteristici optice similare fibrelor optice, o coroziune mai mică decât a fierului, prelucrabilitate mai uşoară cu un consum cât mai redus de energie şi manoperă.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Materiale neconvenţionale

Sigur că, până la ora actuală, un asemenea material neconvenţional, ideal, nu s-a obţinut, însă categorii de materiale care răspund parţial la unele deziderate de mai sus, au fost deja fabricate şi sunt în curs de exploatare şi perfecţionare. Pentru exemplificare, dintre acestea se pot aminti:

- *materiale fibroase*, cu fibre de carbon, cu greutate specifică mică, rezistenţă specifică mecanică şi la temperatură ridicate;
- *fire optice*, cu absorbţie şi reflexie performante;
- *materiale sub formă de faguri* metalice sau nemetalice, cu greutate specifică redusă;
- *materiale anticorozive* (cunoscut fiind că 30% din consumul de oţel este pentru acoperirea pierderilor prin coroziune);

Creşterea temperaturii de regim în instalaţii ar duce la creşterea randamentului de la 40÷50% (cât este astăzi) la peste 80÷90%.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Materiale neconvenţionale

Pe de altă parte, abordarea problemei materialelor neconvenţionale nu poate fi desprinsă de analiza tuturor criteriilor care stau la baza alegerii unui material pentru un detaliu din construcţia de maşini, dintre care mai importante sunt:

- consumul de materii prime pentru elaborarea materialului;
- consumul de energie necesară elaborării;
- informaţiile necesare pentru elaborare;
- integrarea materialului în sistemul tehnologic;
- integrarea sistemului tehnologic în natură (evacuare deşeuri, prelucrare uşoară sau grea etc.).

Faţă de aceste criterii, la ora actuală, peste tot se foloseşte material cu volum constant, compact, întrucât dispunem în cea mai mare proporţie de informaţia elaborării, prelucrării şi exploatării, peste 90%, pe când la materialele sub formă de fire, fise, fagure, recomandate în coeficient de peste 90÷95 (estimând gradul de utilizare a materialelor între 0 şi 100), informaţia este 65÷75%.

Asemănător stau lucrurile şi în ce priveşte tehnologia de prelucrare, când la ora actuală cea mai utilizată metodă de punere în dimensiuni finale este aşchierea, cu toate că este dezavantajoasă (coeficient 60, la fel cu estimări între 0 şi 100 ale metodelor tehnologice), cade mult metal prin aşchii, dar această tehnologie dispune de o largă informaţie, de peste 95%. Opusă aşchierii este prelucrarea neconvenţională prin electroeroziune, când consumul de material capătă coeficientul 90, dar informaţia este scăzută, sub 60%.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE

Materiale neconvenţionale

Ca o concluzie la cele de mai sus, se observă că se vor impune materialele sub formă de fibre, fire, cu goluri controlate, iar ca tehnologii, eroziunea, sudarea, acoperirile, metalizările, deformarea plastică şi turnarea.

Vor fi întotdeauna prioritare, materialele care vor poseda caracteristici superioare, vor necesita consumuri energetice minime şi vor avea o suficientă informaţie asupra prelucrabilităţii lor, iar toate acestea nu se pot rezolva decât pe calea cercetării ştiinţifice.

Pentru o şi mai bună precizare, un material neconvenţional se deosebeşte de cele convenţionale prin cel puţin trei considerente:

- sunt realizate de om, nu se găsesc în natură (de exemplu, lemnul natural, care impregnat devine neconvenţional);
- sunt alcătuite din cel puţin două componente diferite, care posedă interfaţă distinctă (textolit, fagure metalic). Textolitul este o ţesătură textilă impregnată cu răşină fenol-formaldehidică. Structura metalică tip fagure este realizată din folii metalice deformate plastic şi sudate după anumite suprafeţe, lăsând goluri de aer între suprafeţele sudate;
- materialele neconvenţionale vor avea proprietăţi noi, pe care nici una din componente nu le pot avea, luate separat.

FABRICAREA PIESELOR ÎN CONSTRUCŢIA DE MAŞINI DIN MATERIALE NEMETALICE
Materiale neconvenţionale

În principiu, orice material neconvenţional este alcătuit din materiale convenţionale (cel puţin două) din care unul este numit *material de bază*, care preia solicitarea mecanică, termică, electrică etc. şi altul constituie *matricea* care are rolul de a susţine materialul de bază. Matricea nu trebuie să aibă proprietăţi superioare materialului de bază.

Gama largă de astfel de materiale poartă numele global de **materiale compozit**, a căror proprietăţi adesea se determină experimental.

