Lei 8,05

Muntean Gheorghe cls. a X-a D

UTILAJUL ȘI TEHNOLOGIA LUCRĂRILOR MECANICE

N. ATANASIU
E. ARIEȘANU
GH. PEPTEA

Manual pentru licee industriale,
de matematică-fizică
și de filologie-istorie,
clasele a IX-a și a X-a

PARTEA A DOUA

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI - 1980

UTILAJUL ȘI TEHNOLOGIA LUCRĂRILOR MECANICE

Conf. dr. ing. N. ATANASIU
Ing. E. ARIEȘANU
prof. gr. I
Ing. Gh. PEPTEA prof. gr. I

UTILAJUL ȘI TEHNOLOGIA LUCRĂRILOR MECANICE

Manual pentru licee cu profilurile de mecanică, mine-petrol-geologie, matematică-mecanică, filologie-istorie și istorie-geografie, clasele a IX-a și a X-a

PARTEA A DOUA

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI — 1980

Manualul a fost revizuit pe baza programei şcolare aprobate de Ministerul Educaţiei şi Învăţământului cu nr. 3448/1979

Contribuţia autorilor:

Conf. dr. ing. *N. Atanasiu* — cap.: 25.7, 28—38
Ing. *Gh. Peptea* — cap.: 25.1—25.6; 25.8
Ing. *E. Arieşanu* — cap.: 26 şi 27

Manualul a fost coordonat de conf. dr. ing. N. Atanasiu

Referenţi: ing. *N. Huzum*, prof. gr. I
ing. *S. Mihalache*

Redactor: ing. *Matei Iăaoi*
Tehnoredactor: *Vergilia Rusu*
Grafician: *Agalopol Valerian*

III

Tehnologia sudării

Capitolul 25

SUDABILITATEA METALELOR ŞI ALIAJELOR

Sudarea este un procedeu tehnologic de îmbinare nedemontabilă a două sau mai multe piese metalice în stare solidă, realizată prin acţiunea forţelor de coeziune ce pot apărea între atomii marginali aparţinînd pieselor de îmbinat.

Pentru obţinerea forţelor de coeziune care să permită sudarea pieselor, este necesar un aport de energie din exterior — prin încălzire sau presare — obţinut cu ajutorul instalaţiilor de sudare.

Îmbinarea pieselor prin sudare se poate executa cu sau fără material de adaos.

Sudarea se aplică unei game largi de materiale, cum sînt: oţeluri carbon, oţeluri aliate, fonte, metale şi aliaje neferoase, materiale plastice, materiale metaloceramice etc.

1. Clasificarea procedeelor de sudare

Procedeele de sudare sînt clasificate şi simbolizate în STAS 8325-77 astfel: sudarea prin arc electric; sudarea electrică prin presiune (sudarea prin rezistenţă); sudarea cu gaze; sudarea în stare solidă (sudarea electrică prin presiune); alte procedee de sudare.

a) *Sudarea cu arc electric* poate fi:
— cu arc electric cu electrod fuzibil fără protecţie gazoasă;
— cu arc electric acoperit (sudare sub strat de flux);
— cu arc electric în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil;
— cu arc electric în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil;
— cu plasmă.

La sudarea cu arc electric, energia consumată pentru încălzirea şi topirea metalului este degajată de arcul electric.

b) *Sudarea electrică prin presiune (sudare prin rezistenţă)* poate fi:
— în puncte;
— în relief;
— în linie;
— cap în cap, prin topire intermediară;
— cap în cap, în stare solidă.

La sudarea electrică prin rezistenţă, energia termică, necesară încălzirii metalului, se formează în timpul trecerii curentului electric prin piesa de sudat.

c) *Sudarea cu gaze* poate fi:
— oxigaz;
— oxiacetilenică;
— aerogaz;
— aeroacetilenică.

La sudarea cu gaze, energia termică este dezvoltată prin arderea unui gaz combustibil, cel mai utilizat fiind acetilena.

d) *Sudarea în stare solidă (sudarea neelectrică prin presiune)* poate fi:
— cu ultrasunete;
— prin frecare;
— prin forjare.

e) *Alte procedee de sudare* se referă la:
— sudarea aluminotermică;
— sudarea electrică în baie de zgură;
— sudarea electrogaz;
— sudarea prin inducţie;
— sudarea cu radiaţii luminoase;
— sudarea cu laser;
— sudarea cu fasciculul de electroni.

Procedeele de sudare sînt multiple, în clasificarea de mai sus sînt indicate numai cele principale.

2. Sudabilitatea metalelor şi aliajelor

În timpul realizării şi exploatării construcţiilor metalice s-a constatat că pentru aprecierea calităţii metalelor destinate sudării nu sînt suficiente caracteristicile mecanice determinate prin încercări curente. Astfel, în timpul sudării, metalele se comportă diferit, producîndu-se o serie de modificări, atît în compoziţia chimică şi structură, cît şi în caracteristicile mecanice, care pot influenţa negativ siguranţa în exploatare a construcţiilor sudate.

Avîndu-se în vedere considerentele de mai sus s-a introdus definiţia unei noi proprietăţi a metalelor şi anume *sudabilitatea*.

Sudabilitatea reprezintă aptitudinea unui oţel ca printr-un anumit procedeu şi pentru un anumit scop să asigure, în îmbinările sudate, caracteristicile locale şi generale prescrise pentru o construcţie sudată.

Ea poate fi apreciată prin complexitatea precauţiilor (condiţii de mediu, preîncălzire etc.), care sînt necesare la realizarea îmbinărilor sudate.

a. **Condiţiile de sudabilitate.** Din punct de vedere tehnologic, sudabilitatea cuprinde două aspecte: comportarea la sudare şi siguranţa la sudare.

Comportarea la sudare caracterizează posibilitatea de a realiza, printr-un procedeu oarecare, îmbinări sudate fără defecte, cu caracteristici prevăzute, depinzînd de proprietăţile metalurgice ale metalului de bază şi ale celui de adaos.

Siguranţa la sudare indică însuşirea materialului sudat de a nu-şi diminua caracteristicile mecanice datorită tehnologiei de sudare aplicate încît să apară pericolul de rupere fragilă. Rezultă că siguranţa la sudare este legată de capacitatea materialelor de a-şi păstra proprietăţile de plasticitate în urma procesului de sudare.

Ruperea fragilă se caracterizează prin ruperea bruscă, fără deformaţii prealabile a unei construcţii sudate, în condiţii de solicitare reduse sau no-

male, în timpul execuției sau după o perioadă de funcționare. În majoritatea cazurilor s-a constatat că procesul ruperii fragile cuprinde formarea unor fisuri foarte fine, propagarea și unirea fisurilor urmate de ruperea bruscă, din cauza fragilității și a scăderii rezistenței materialului. Caracterul periculos al acestor fisuri constă în aceea că, fiind de mărime microscopică, sînt foarte greu de identificat chiar prin metodele de control nedistructiv.

Din aceste motive, siguranța la sudare a materialelor prezintă o problemă deosebit de importantă în construcția de mașini, de ea depinzînd siguranța în exploatare a asamblărilor sudate.

O bună sudabilitate presupune posibilitatea realizării de îmbinări sudate fără fisuri sau alte defecte, cu alungire specifică ridicată, rezistență mecanică și caracteristici tehnologice apropiate de cele ale metalului de bază, cu capacitatea de a-și păstra caracteristicile în tot timpul funcționării. Trebuie accentuat faptul că defectele care se datoresc unei concepții constructive necorespunzătoare, unor tehnologii de sudare nepotrivite sau a unei execuții defectuoase nu pot constitui criterii negative pentru aprecierea sudabilității materialelor.

b. **Comportarea metalelor la sudare.** Sudabilitatea poate fi apreciată prin următorii factori: comportarea metalurgică, comportarea tehnologică, comportarea constructivă și comportarea în exploatare.

Comportarea metalurgică este determinată de compoziția chimică a metalului sudat dar mai este influențată și de elementele însoțitoare, de metoda de elaborare a oțelurilor respective și de starea de livrare. Comportarea metalurgică indică modificările produse asupra caracteristicilor mecanice, respectiv posibilitatea apariției unor defecte influențate de fragilitate.

Conținutul de carbon este determinant în ceea ce privește sudabilitatea, creșterea lui conducînd în toate cazurile la scăderea comportării la sudare a oțelurilor. S-a stabilit că limita maximă de carbon în oțelurile nealiate destinate sudării nu trebuie să depășească 0,22%, iar în oțelurile slab aliate sau aliate 0,18%.

Conținutul de elemente de aliere conduce la îmbunătățirea sudabilității în măsura în care favorizează plasticitatea oțelurilor și micșorează călibilitatea.

Manganul are o influență pozitivă deoarece mărește rezistența la rupere respectiv alungirea, însă contribuie și la mărirea posibilității de călire, de aceea este limitat la 1,6%.

Siliciul influențează favorabil pînă la 0,55% deoarece la conținuturi mai ridicate mărește fragilitatea oțelurilor.

Nichelul îmbunătățește sudabilitatea oțelurilor, mărind plasticitatea, însă totuși se limitează la 2—4% din cauza influenței pozitive asupra călibilității.

Molibdenul mărește rezistența mecanică a îmbinărilor sudate, mai ales la temperaturi ridicate, totuși în oțelurile sudabile conținutul de molibden nu trebuie să fie mai mare de 0,6%, deoarece determină creșterea puternică a călibilității.

Vanadiul este favorabil sudabilității pînă la 0,15% îmbunătățind caracteristicile mecanice.

Aluminiul pînă la 0,1% contribuie la formarea structurilor fine și deci îmbunătățește sudabilitatea.

Cromul și wolframul, cu toate că mărește rezistența mecanică a oțelurilor, din cauza favorizării tendinței de călire, contribuie la scăderea sudabilității oțelurilor.

Elementele însoțitoare sînt dăunătoare sudabilității oțelurilor în toate cazurile, producînd o serie de fenomene care reduc rezistența, plasticitatea și siguranța în exploatare a construcțiilor sudate. Astfel, conținutul de azot se limitează la 0,006%, de oxigen la 0,01%, de hidrogen la 6 m^3/100 g etc.

Metoda de elaborare influențează asupra comportării la sudare a oțelurilor deoarece determină gradul de puritate și asigură limitele conținutului diferitelor elemente componente. Astfel, sudabilitatea scade în ordinea următoare:

— oțeluri elaborate în cuptoare electrice;
— oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin;
— oțeluri elaborate în cuptoare Siemens-Martin cu insuflare de oxigen;
— oțeluri de convertizor cu oxigen (L.D.).

Starea de livrare determină subabilitatea pe baza proprietăților de plasticitate obținute prin diferite tratamente mecanice și termice. Sudabilitatea scade în următoarea ordine:

— oțeluri normalizate;
— oțeluri deformate la cald (laminate, forjate, matrițate);
— oțeluri turnate;
— oțeluri deformate la rece (laminate, trase, ambutisate).

c. **Comportarea tehnologică.** Comportarea tehnologică se caracterizează prin caracteristicile mecanice și proprietățile tehnologice care se pot realiza prin metoda de sudare în condițiile de execuție date. Sudabilitatea cea mai bună se obține prin acea metodă de sudare la care cusătura rezultă cu caracteristici mecanice și proprietăți de plasticitate mai bune, fără modificări ale proprietăților inițiale. Din acest punct de vedere, sudabilitatea la principalele metode de sudare scade în ordinea de mai jos:

— sudarea prin presiune;
— sudarea cu jet de plasmă;
— sudarea în baie de zgură;
— sudarea sub strat de flux;
— sudarea cu electrod învelit;
— sudarea cu flacără.

Asupra sudabilității influențează și alți factori tehnologici și anume:

Poziția de sudare cea mai indicată este cea orizontală, în celelalte cazuri sudabilitatea scade din cauza dificultăților care apar la realizarea cusăturii.

Preîncălzirea contribuie în general la îmbunătățirea sudabilității. Sudarea la temperaturi sub 5°C, în vînt sau în ploaie, reduce sudabilitatea.

Metalul de adaos de calitate superioară și puritate ridicată permite obținerea unor cusături cu proprietăți mai bune. Cea mai bună sudabilitate se obține la sudarea cu electrozi cu înveliș bazic sau cu fluxuri bazice, precum și în atmosfere inerte.

d. **Comportarea constructivă.** Comportarea constructivă se referă la tehnologia de execuție adoptată pentru o construcție sudată; în acest sens pot fi scoși în evidență o serie de factori, și anume:

Grosimea materialului este factorul cel mai important, din punctul de vedere al sudabilității, avînd o influență puternic negativă. Îmbinările sudate de grosime mai mare se execută mai dificil, deoarece pătrunderea în adîncime este îngreunată, supraîncălzirea este mai mare, volumul de metal topit crește, vitezele de răcire rezultate sînt mai mari, iar controlul este mai dificil.

Felul îmbinărilor sudate influențează sudabilitatea, cea mai bună obținîndu-se în cazul îmbinărilor cap în cap.

Configurația și complexitatea construcției influențează sudabilitatea, aceasta fiind determinată de rigiditatea ansamblului. Cu cît o construcție este mai rigidă, are mai multe cusături, apar intersectări și noduri de cusături, accesibilitatea lucrului este mai redusă și deci sudabilitatea scade.

e. **Comportarea în exploatare** a acestora caracterizează reacția construcției sudate față de condițiile de exploatare. În general, toate condițiile care contribuie la reducerea plasticității materialelor favorizează sensibilitatea de fisurare și produc rupere fragilă. Efecte negative au și o serie de condiții de exploatare, ca: eforturile variabile, solicitările de durată la temperaturi ridicate, presiunea, șocurile termice, acțiunea unor gaze fierbinți, agenții corosivi, uzarea etc.

f. **Grupele de sudabilitate ale oțelurilor.** În cadrul proiectării și realizării raționale a construcțiilor sudate s-au stabilit o serie de criterii generale care să permită caracterizarea tuturor oțelurilor din punctul de vedere al sudabilității. Astfel, au fost stabilite grupe de sudabilitate, avînd delimitate pentru fiecare în parte tehnologia de sudare, domeniile de aplicare, respectiv condițiile constructive și de exploatare.

Grupele de sudabilitate normalizate (STAS 7194-65) încadrează oțelurile în trei subgrupe de sudabilitate, grupa I avînd două subgrupe.

Grupa Ia cuprinde oțelurile cu sudabilitate bună necondiționată, garantîndu-se în mod obligatoriu calitatea și siguranța în exploatare a construcțiilor sudate, fără delimitarea tehnologiei de execuție sau a soluțiilor constructive, respectiv a condițiilor de exploatare. Astfel, se pot realiza construcții de orice complexitate, fără preîncălzire la sudare, în orice condiții și împrejurări, obținîndu-se în toate cazurile construcții sudate de bună calitate.

Grupa Ib se referă la categoria oțelurilor de sudabilitate bună condiționată, garantîndu-se de către producător calitatea construcției sudate numai în anumite condiții specificate din punct de vedere constructiv, tehnologic și funcțional. Astfel, se limitează grosimea maximă sudabilă, se recomandă evitarea unor soluții din care să rezulte intersectări de cusături sau forme prea complexe, se prescriu metode de sudare adecvate, calități superioare de metal de adaos, preîncălziri și tratamente termice, se interzice sudarea sub 5°C, în vînt sau în ploaie etc.

Grupa a II-a se referă la oțeluri cu sudabilitate posibilă, cu care se pot realiza construcții sudate de calitate corespunzătoare numai în anumite condiții constructive, tehnologice și de exploatare stabilite în prealabil, fără însă a se garanta de către producător calitatea și siguranța în exploatare. Condițiile de realizare a construcțiilor sudate sînt stabilite de proiectant și se referă la preîncălziri, tratamente termice, metode de sudare, calitatea materialelor de adaos, complexitatea construcției și condițiile de exploatare.

Grupa a III-a este de sudabilitate necorespunzătoare și se referă la oțelurile care în mod normal nu permit realizarea de îmbinări sudate. Aceste oțeluri nu sînt recomandate pentru realizarea de construcții sudate, deși, în anumite condiții tehnologice speciale, se pot obține îmbinări sudate acceptabile, fără garantarea calității.

În cazul oțelurilor de producție curentă sudabilitatea se garantează de către producător pe baza compoziției chimice și a caracteristicilor mecanice.

În tabelul 25.1 este dată o încadrare a oțelurilor pe grupe de sudabilitate în funcție de conținutul de carbon și de principale elemente de aliere (Mn, Si, Ni, Cr, Mo).

TABELUL 25.1

Sudabilitatea oțelurilor în funcție de conținutul de carbon, în %

Grupa de sudabilitate	Conținutul total de elemente de aliere (Mn, Si, Ni, Cr, Mo)		
	0,5–1,0%	1,0–3,0%	3,0–7,0%
I a	sub 0,25	sub 0,20	sub 0,18
I b	0,25–0,35	0,20–0,30	0,18–0,28
II	0,35–0,45	0,30–0,40	0,28–0,38
III	peste 0,45	peste 0,40	peste 0,38

În urma experiențelor efectuate au putut fi delimitate conținutul maxim de carbon și elementele de aliere pentru oțelurile sudabile necondiționat.

C	0,22%;	Cr	0,40%;	P	0,04%;
Mn	1,60%;	Ni	0,20%;	S	0,04%;
Si	0,55%;	Cu	0,30%;	P + S	0,06%.

În cazul oțelurilor slab sau mediu aliate trebuie luată în considerație influența cumulată a conținutului de carbon și de elemente de aliere, care împreună nu pot depăși anumite limite stabilite în vederea asigurării sudabilității corespunzătoare (tab. 25.2).

TABELUL 25.2

Conținutul maxim de elemente din oțeluri slab aliate sudabile

Denumirea elementelor	Conținutul maxim %	Denumirea elementelor	Conținutul maxim %
C + Cr	0,35	C + Ni	3,0
C + Mo	0,50	Cu + Ni	3,0
C + V	0,40	Cu	0,8
C + Mn	1,40	P + S	0,06

Categoria de bază a materialelor destinate realizării construcțiilor sudate o formează oțelurile de uz general pentru construcții (STAS 500/2-68), care prezintă o serie de avantaje, ca: sudabilitate bună, prelucrabilitate ușoară, deformabilitate mare la cald și la rece, gamă largă de semifabricate și cost de fabricație redus.

Oțelurile OL 32 și OL 34 sînt prevăzute pentru piese obținute prin deformare la rece (ștanțare sau ambutisare), însă în construcția de mașini sînt folosite de multe ori pentru ansambluri și subansambluri sudate, pretîndu-se la sudare prin toate procedeele.

Marca de bază pentru construcții sudate este *oțelul laminat* OL 37, care poate fi utilizat la piese solicitate static și la cele solicitate dinamic sau la oboseală. Atunci cînd este elaborat în convertizor însă prezintă pericolul de formare al porilor.

Oțelul OL 42 se folosește în condiții similare ca OL 37, la piese supuse la solicitări, însă sudabilitatea este limitată pînă la o grosime de 50 mm.

Oțelurile de la OL 44 la OL 70 sînt sudabile cu respectarea anumitor prescripții referitoare la calitatea electrozilor și condiții de preîncălzire, iar metoda de sudare recomandată este sudarea prin presiune.

Comportarea oțelurilor la sudare se verifică pe cale experimentală prin încercări efectuate pe epruvete sudate.

3. Metale și aliaje neferoase pentru construcții sudate

Cercetările efectuate pentru cunoașterea proprietăților și comportării metalelor și aliajelor neferoase, precum și dezvoltarea tehnologiilor de sudare, au creat premise pentru utilizarea pe scară din ce în ce mai largă a acestor materiale pentru realizarea de construcții sudate. Deși costul lor este mai ridicat, anumite proprietăți speciale fac ca utilizarea lor în diferite condiții să fie rentabilă. Astfel, metalele și aliajele neferoase se caracterizează prin greutate specifică redusă, rezistență mecanică relativ ridicată, rezistență la coroziune, conductivitate electrică și termică ridicate etc. Totuși sudabilitatea metalelor și aliajelor neferoase ridică o serie de probleme legate de puritatea lor și de tehnologia adoptată la sudare, așa încît în cel mai favorabil caz se pot încadra în *grupa I b* — sudabile condiționat.

a) *Cuprul și aliajele de cupru* sînt folosite pentru construcții sudate care trebuie să aibă conductivitate termică ridicată sau rezistență la oxidare în medii umede.

Sudabilitatea cuprului (STAS 270/1-74) este îngreunată de formarea oxizilor, care sub formă de incluziuni reduc mult rezistența îmbinărilor sudate. Pentru garantarea acestora se utilizează procedeele de sudare în atmosferă inertă sau cu plasmă și preîncălzirea componentelor de îmbinat.

Asamblarea prin sudare a cuprului se utilizează pentru obținerea de rezervoare, cazane, țevi, schimbătoare de căldură, radiatoare etc.

Construcții sudate se obțin și din alame (STAS 95-75), mai ales mărcile cu conținut mai redus de zinc (Cu Zn 20; Cu Zn 30 și Cu Zn 37) pentru cazane, recipiente și schimbătoare de căldură utilizate în industria chimică.

b) *Aluminiul și aliajele de aluminiu* se utilizează la obținerea unor construcții sudate datorită greutății specifice reduse și a rezistenței la oxidare și coroziune.

Sudabilitatea aluminiului și a aliajelor de aluminiu depinde foarte mult de metoda de sudare și calitatea operației. În toate cazurile trebuie asigurate condițiile necesare pentru evitarea oxidării și impurificării cusăturii, a evaporării și arderii elementelor de aliere și a formării de incluziuni sau de sufluri. Aceste condiții pot fi îndeplinite prin aplicarea metodelor de sudare în atmosfere inerte sau cu plasmă.

c) *Titanul și aliajele de titan* sînt folosite la construcții sudate care necesită o rezistență mare, greutate specifică mică, rezistență la temperaturi ridicate și la coroziune. Cel mai mult se utilizează semifabricatele laminate de titan. Metoda de sudare care asigură o calitate superioară construcției este sudarea cu fascicul de electroni.

d) *Nichelul și aliajele de nichel* se caracterizează printr-o bună sudabilitate folosindu-se metode de sudare în atmosfere inerte sau cu jet de electroni. Se utilizează în industria chimică avînd o bună rezistență la coroziune și oxidare.

Aliajele nichelului cu crom, titan etc. sînt folosite pentru construcții sudate destinate fabricării motoarelor cu reacție și de rachete.

4. Clasificarea îmbinărilor sudate

În funcție de procedeul de sudare, îmbinările sudate pot fi obținute prin topire sau prin presiune.

a. **Clasificarea îmbinărilor obținute prin topire.** *După secțiunea transversală a cordonului de sudură*, îmbinările sudate prin topire pot avea:

— *secțiune de tip pană* (sudură în I sau în dublu I), obținute prin sudarea capetelor alăturate a tablelor sau a profilelor de asamblat pe o parte (fig. 25.1,*a*) sau pe ambele părți (pană dublă, fig. 25.1,*b*);

— *secțiune de tip echer* (sudură în L sau D), obținute la sudarea tablelor așezate pe colț, suprapuse, pe muchie (fig. 25.1,*c*).

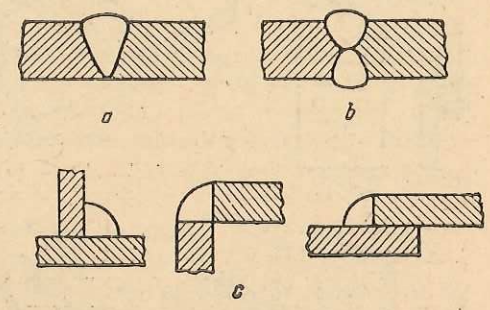


Fig. 25.1. Clasificarea îmbinărilor sudate după secțiunea transversală a cordonului de sudură:
a, b — secțiunea I (tip pană); *c* — secțiunea tip echer.

După pozițiile principale ale cusăturii, îmbinările sudate pot avea (fig. 25.2):

— *cusăturile orizontale*, întîlnite în cazul îmbinărilor cap în cap a tablelor orizontale (fig. 25.2,*a*), oblice (fig. 25.2,*d*) sau verticale (fig. 25.2,*e*), cît și a îmbinărilor de colț a tablelor (fig. 25.2,*b*), în jgheab (fig. 25.2,*c*) sau pereți înclinați la 45° (fig. 25.2,*f*);

— *cusături verticale*, întîlnite în cazul îmbinărilor cap în cap (fig. 25.2,*g*) sau de colț (fig. 25.2,*h*);

— *cusături de plafon* (peste cap), întîlnite de asemenea în cazul îmbinărilor cap în cap (fig. 25,2.*i*) sau de colț (fig. 25.2,*j*).

După clasa de execuție îmbinările sudate pot fi împărțite în următoarele clase:

— *clasa de execuție I*, la construcțiile sudate deosebit de solicitate: recipiente sub presiune supuse la temperaturi, poduri, macarale, vehicule etc. Aceste suduri sînt supuse în general unui control radiografic integral;

— *clasa de execuție a II-a*, pentru solicitări medii: conducte, construcții metalice. Pentru recepție au prescripții obligatorii și control radiografic parțial;

— *clasa de execuție a III-a*, pentru lucrări statice supuse la solicitări reduse: scări, stîlpi, balustrade etc.

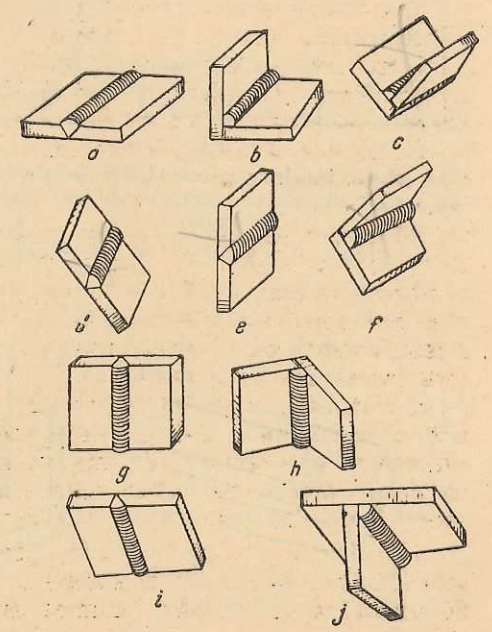


Fig. 25.2. Clasificarea îmbinărilor sudate după pozițiile principale ale cusăturii.

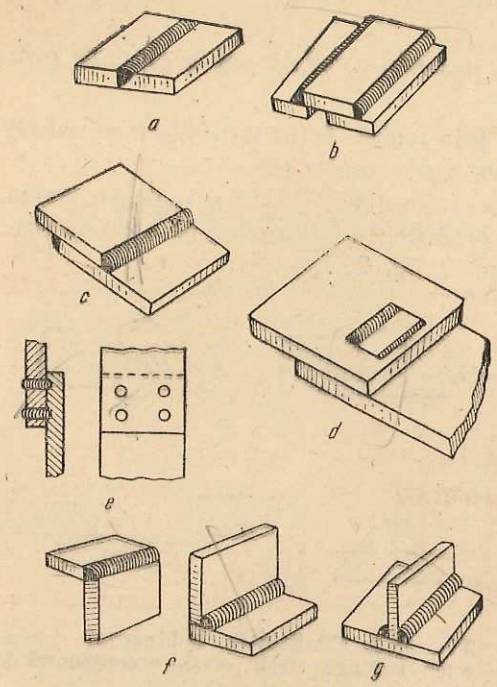


Fig. 25.3. Clasificarea îmbinărilor sudate după poziția relativă a pieselor ce se asamblează.

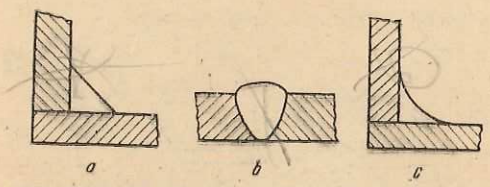


Fig. 25.4. Clasificarea îmbinărilor sudate după forma suprafeței exterioare a cordonului de sudare:
a — plană; *b* — convexă; *c* — concavă.

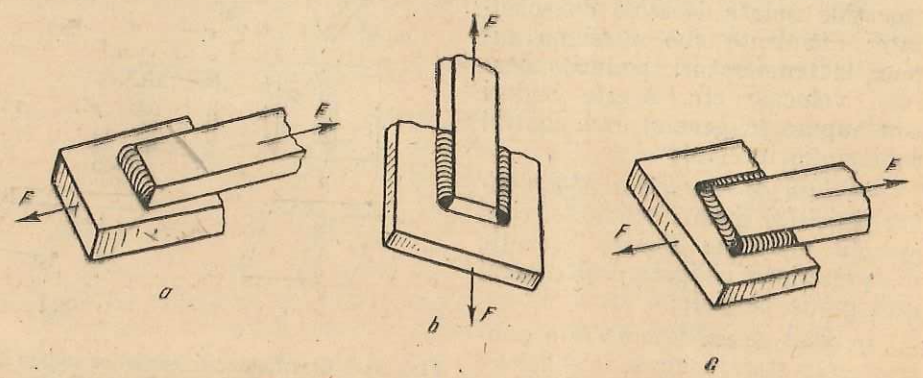


Fig. 25.5. Clasificarea îmbinărilor sudate după poziția cusăturilor față de direcția forței de solicitare.

La recepție nu sînt supuse la încercări speciale.

După poziția relativă a pieselor ce se asamblează, îmbinările sudate pot fi:

— *cap în cap*, cu cusătură directă (fig. 25.3,*a*) și cu o eclisă (fig. 25.3,*b*);

— *suprapuse*, cu cusătură de margine (fig. 25.3,*c*).

După forma suprafeței exterioare a cordonului de sudură, îmbinările sudate pot fi:

— *plane* (fig. 25.4,*a*), cu suprafață exterioară plană, care este forma cea mai obișnuită a sudurilor de colț;

— *convexe* (fig. 25.4,*b*), suprafața exterioară îngroșată, care este forma cea mai obișnuită a sudurilor cap în cap;

— *concavă* (fig. 25.4,*c*), cu suprafața exterioară concavă, folosită la suduri de colț pentru construcțiile supuse sarcinilor de oboseală; această formă se prescrie în caietele de sarcini.

După poziția cordoanelor de sudură față de direcția sarcinii îmbinările sudate pot fi:

— frontale (fig. 25.5,*a*);

— laterale (fig. 25.5,*b*);

— combinate (fig. 25.5,*c*).

După continuitate, îmbinările sudate pot fi:

— continue;

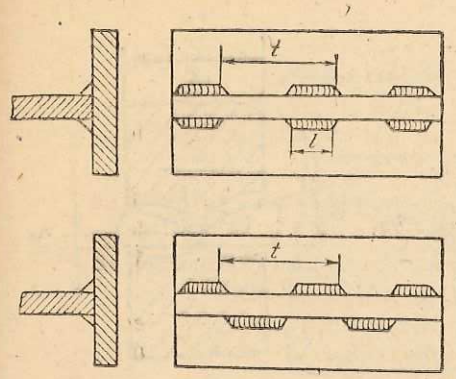


Fig. 25.6. Cusături discontinue.

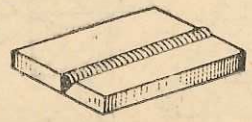


Fig. 25.7. Îmbinări sudate cap în cap.

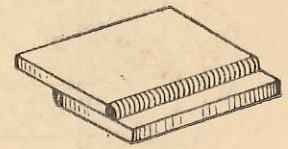


Fig. 25.8. Îmbinări sudate cu margini suprapuse.

— discontinue, putînd fi dispuse față în față sau în zigzag (fig. 25.6).

b. **Clasificarea îmbinărilor sudate obținute prin presiune.** *După starea metalelor presate*, se deosebesc:

— îmbinări sudate realizate prin presarea metalelor încălzite;

— îmbinări sudate realizate prin presarea metalelor neîncălzite.

După poziția relativă a pieselor ce se asamblează, îmbinările sudate pot fi:

— cap în cap (fig. 25.7), prin refulare și cu topire superficială;

— cu margini suprapuse (fig. 25.8), în puncte și în linie continuă sau întreruptă.

5. Formele și dimensiunile rosturilor pentru sudare

Îmbinările sudate se compun din metalul de bază și cusătură.

Metalul de bază este metalul sau aliajul care se sudează.

Cusătura rezultă prin solidificarea băii de metal topit care se formează în spațiul dintre marginile metalului de bază, din metalul depus și din metalul de bază. Metalul depus este partea din metalul de adaos care contribuie la formarea cusăturii. Metalul de adaos este metalul sau aliajul sub formă de vergea, sîrmă sau pulbere, care se introduce suplimentar în zona de sudare, în vederea umplerii spațiilor dintre piese.

Rostul de sudare este spațiul format dintre marginile pieselor pregătite în vederea îmbinării prin sudare (fig. 25.9). Formarea rostului este necesară din punct de vedere tehnologic, pentru a se putea realiza o pătrundere corespunzătoare a procesului de sudare pe toată grosimea materialului.

Cusătura se compune din mai multe rînduri de sudură, fiecare rînd fiind obținut în timpul unei treceri de-a lungul cusăturii (fig. 25.10). Pentru calitatea cusăturii prezintă un deosebit interes pătrunderea sudurii, care reprezintă adîncimea de topire a metalului de bază. Prin *zona influențată termic* se înțelege porțiunea metalului de bază din apropierea cusăturii a cărei proprietăți s-au modificat în urma procesului de sudare.

Îmbinările sudate se clasifică în funcție de poziția reciprocă a pieselor de îmbinat. Formele și dimensiunile rosturilor sînt determinate de formele îmbinărilor sudate.

a. **Rosturile îmbinărilor sudate cap în cap.** Îmbinările sudate cap în cap sînt folosite cu precădere pentru realizarea majorității construcțiilor sudate,

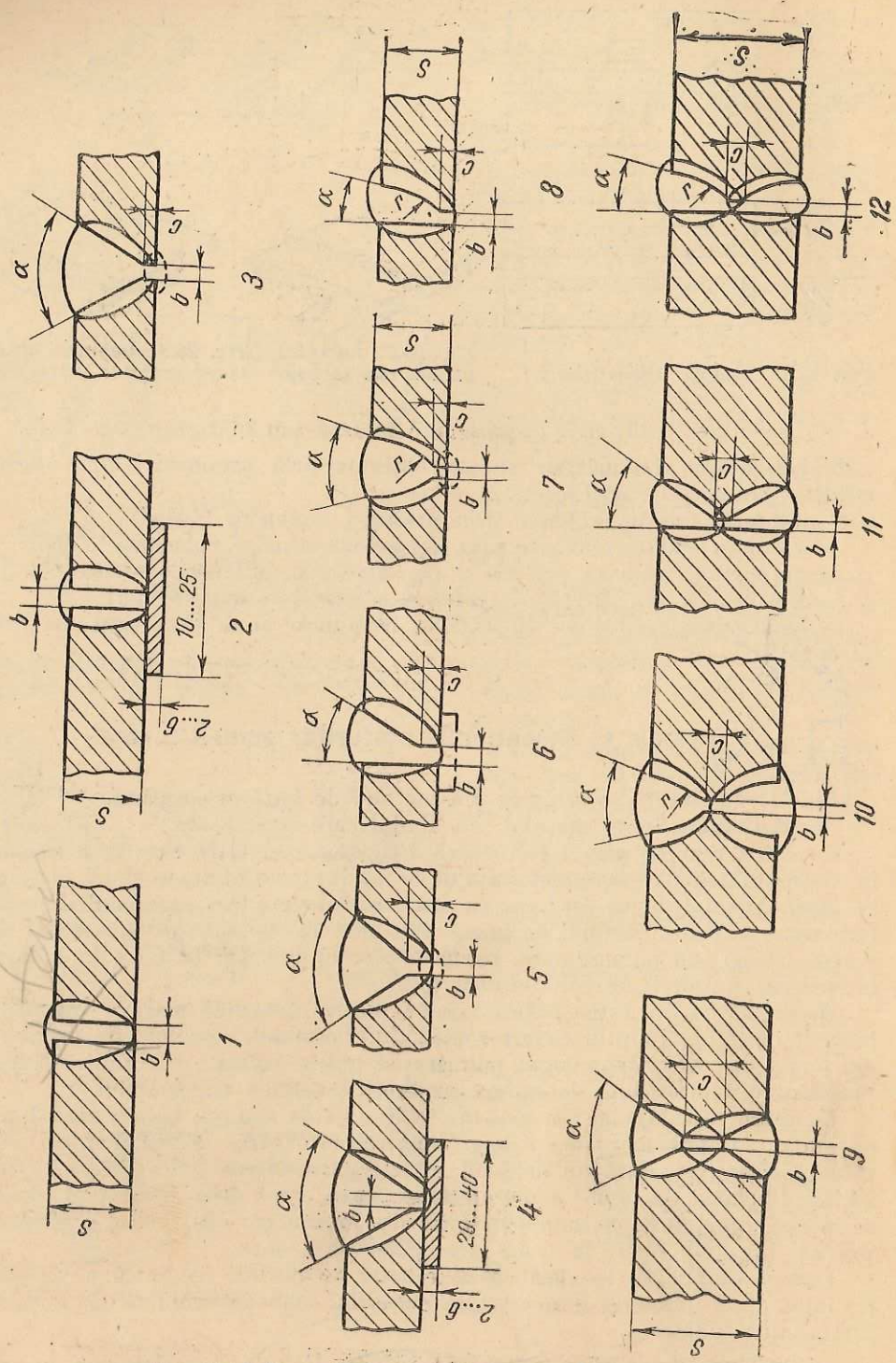


Fig. 25.11. Rosturile îmbinărilor sudate cap în cap.

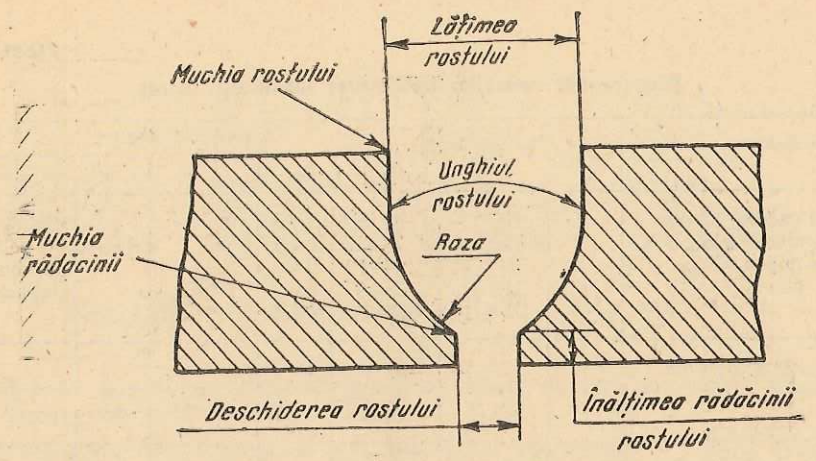


Fig. 25.9. Elementele rostului de sudare.

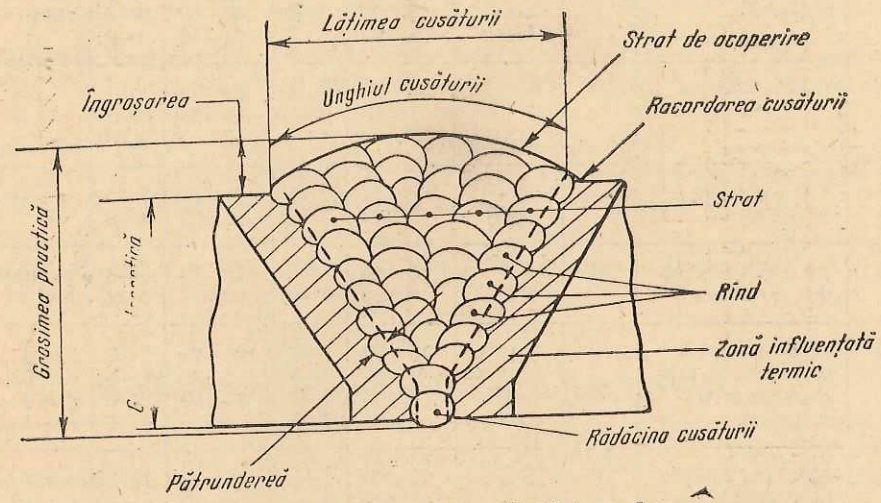


Fig. 25.10. Elementele cusăturii la sudare.

în special a celor puternic solicitate. Rosturile, prin forma și dimensiunile lor, servesc la asigurarea pătrunderii uniforme a sudurii pe toată grosimea materialului. În figura 25.11 sînt reprezentate rosturi pentru îmbinări cap în cap, iar în tabelul 25.3 sînt date denumirile îmbinărilor și dimensiunile rosturilor în funcție de metoda de sudare.

Rosturile în formă de I sînt cele mai economice, deoarece se prelucrează ușor, însă pătrunderea la rădăcina cusăturii este dificilă, necesitînd surse termice puternice. Se aplică în general pentru oțeluri carbon ușor sudabile, care rezistă fără pericol de fisurare la influența unui regim mai puternic de sudare.

Rosturile în V asigură o foarte bună pătrundere în adîncimea cusăturii, utilizîndu-se la sudarea tablelor groase din oțeluri slab aliate, mai greu sudabile.

Rosturile în Y sînt folosite mai ales pentru procedee de sudare cu pătrundere mare aplicîndu-se la oțeluri carbon și slab aliate.

TABELUL 25.3

Dimensiunile rosturilor îmbinărilor sudate cap în cap

Nr. crt.	Denumirea îmbinării sudate	Fig.* 25.11.	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului				
				s, mm	b, mm	α, °	c, mm	Obs.
1	I sudate dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	1	G	1—6	1—3	—	—	Sudare F pe pernă de flux sau suport Cu
			E	1—3	0—1			
			F	2—10	0—3			
			MAG	1—6	0—2			
			WIG	0,5—3	0—1			
2	I pe suport de oțel	2	E	1—5	1—4	—	—	—
			F	2—12	0—5			
			MAG	2—10	0—3			
3	V sudare dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	3	G	3—12	1—4	55—65	0—2	Pe pernă de flux sau suport de cupru
			E	3—20	1—3	55—65	0—3	
			F	8—30	2—6	30—50	0—6	
			MAG	5—20	0—2	40—60	0—3	
			WIG	3—20	1—3	50—70	0—2	
4	V pe suport de oțel	4	E	6—30	3—5	20—40	—	—
			F	4—50	2—10	25—35	0—2	
			MAG	8—30	1—6	30—50	0—3	
5	Y (cu completare la rădăcină)	5	F	8—24	0—1	30—50	5—9	—
			MAG	5—20	1—3	30—50	4—6	
6	1/2 Y (cu completare la rădăcină)	6	E	3—20	1—8	45—70	0—3	pe suport de oțel
			MAG	8—40	0—6	40	0—3	
7	U sudat dintr-o parte (cu sau fără completare la rădăcină)	7	E	15—60	1—3	16—24	1—3	$r = 4 \ldots 7$
			F	20—60	0—3	18—22	2—6	$r = 5 \ldots 8$
			MAG	⩾20	0—2	20—30	2—6	$r = 4 \ldots 5$
			WIG	⩾10	1—3	20	1—2	$r = 4 \ldots 5$
8	1/2 U (cu completare rădăcină)	8	E	15—60	1—3	16—20	1—3	$r = 4 \ldots 7$
			F	⩾30	0—1	5—10	5—10	$r = 10 \ldots 12$
			MAG	⩾20	0—2	20	2—3	$r = 4 \ldots 5$
9	2Y sudate pe ambele părți	9	G	⩾12	3—4	45—55	0—2	
			E	12—40	1—3	55—65	0—2	
			F	10—60	1—4	30—60	1—4	
			MAG	15—40	1—3	30—50	4—6	
			WIG	15—40	1—3	50—70	1—2	
10	2U sudate pe ambele părți	10	E	⩾30	0—3	16—24	2—3	$r = 4 \ldots 7$
			F	25—80	0—2	18—22	6—8	$r = 6 \ldots 8$
			MAG	⩾30	0—2,5	20—30	4—6	$r = 4 \ldots 5$
11	1/2Y pe ambele părți	11	F	12—38	0—1	45	3	în cornișă
			MAG	12—40	0—3	40—50	1—3	
12	1/2U pe ambele părți	12	F	⩾50	0—1	5—10	6—8	$r = 10 \ldots 12$
			MAG	⩾30	0—3	20—30	1—3	$r = 8 \ldots 10$

* Metoda de sudare: G — cu gaze; E — cu electrod învelit; F — sub strat de flux; MAG — în CO_2; WIG — în argon cu electrod de wolfram.

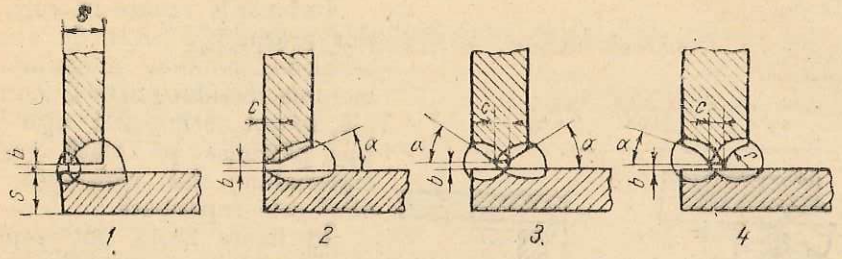


Fig. 25.12. Rosturile îmbinărilor sudate în colț interior.

Rosturile în U sînt specifice îmbinărilor sudate de grosime mare, folosindu-se sudarea din mai multe treceri.

Rosturile asimetrice se aplică mai rar, fiind avantajoase numai pentru sudarea orizontală.

Rosturile simetrice sudate pe ambele părți se aplică pentru îmbinările puternic solicitate.

b. **Rosturile îmbinărilor sudate în colț.** Îmbinările sudate în colț se realizează între două elemente avînd o poziție reciprocă în unghi, de obicei de 90°, putînd fi în colț interior sau în colț exterior.

Îmbinările sudate în colț interior se realizează aplicîndu-se sursa de căldură în interiorul unghiului format de cele două elemente de îmbinat, recomandîndu-se completarea cusăturii prin sudare din exterior.

În figura 25.12 sînt reprezentate rosturile îmbinărilor sudate în colț interior, iar în tabelul 25.4 sînt date denumirile îmbinărilor și dimensiunile rosturilor în funcție de metoda de sudare.

TABELUL 25.4

Denumirile rosturilor îmbinărilor sudate în colț interior

Nr. crt.	Denumirea îmbinării	Fig. 25.12	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului				
				s mm	b mm	α °	c mm	Obs.
1	În L cu margini drepte	1	E	2—10	0—2	70—100*	—	Sudare orizontală sau în jgheaburi sau bilateral
			F	3—30	0—2	80—100*		
			MAG	2—10	0—2	70—100*		
2	În L cu rost 1/2Y	2	E	3—20	0—3	45—55	0—2	La sudarea F pe pernă de flux sau suport de Cu
			F	5—40	0—1	45—60	0—4	
			MAG	8—25	0—2	45—55	0—3	
			WIG	3—20	1—3	50—60	1—2	
3	În L cu dublu 1/2Y sudată pe ambele părți	3	E	12—40	1—3	45—55	0—2	—
			F	20—40	0—2	45—55	3—4	
			MAG	12—40	0—3	40—50	1—5	
			WIG	⩾10	1—3	50—60	1—2	
4	În L cu rost 1/2U dublu sudat pe ambele părți	4	E	⩾30	0—3	20—30	2—3	$r = 7$ mm

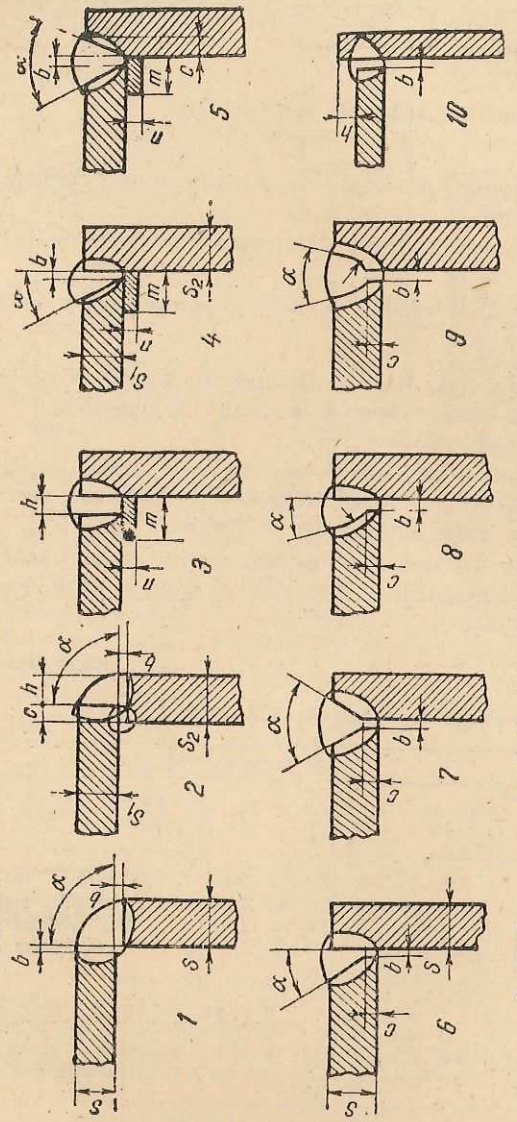


Fig. 25.13. Rosturile îmbinărilor sudate în colţ exterior.

Îmbinările sudate în colţ exterior prezintă o serie de avantaje tehnico-economice, şi anume: prelucrarea rostului poate fi mai simplă, se pot obţine mai uşor cusături pătrunse pe toată grosimea materialului, iar rezistenţa îmbinării este superioară.

În figura 25.13 sînt reprezentate rosturile îmbinărilor sudate în colţ exterior, iar în tabelul 25.5 sînt date denumirile îmbinărilor şi dimensiunile rosturilor în funcţie de metode de sudare.

c. **Rosturile îmbinărilor sudate în T.** Îmbinările în T sînt îmbinările de colţ interior realizate între capătul unui element şi suprafaţa celuilalt. Aceste îmbinări se realizează numai prin metode de sudare de mare pătrundere cu arc electric, pentru construcţii cu solicitări normale sau reduse.

În figura 25.14 sînt reprezentate rosturile îmbinărilor sudate în T, iar în tabelul 25.6 sînt date denumirile îmbinărilor şi dimensiunile rosturilor în funcţie de metoda de sudare.

Formele şi dimensiunile rosturilor sînt standardizate în funcţie de procedeul de sudare şi calitatea metalului de bază.

6. Alegerea sculelor şi a dispozitivelor pentru încălzirea metalelor şi aliajelor în funcţie de procedeul de sudare şi de grosimea pieselor

Calitatea şi economicitatea construcţiilor sudate sînt condiţionate de tehnologia de sudare adoptată şi în cadrul acesteia de metoda de sudare. În prezent, pentru fabricarea construcţiilor sudate se folosesc o serie de metode de sudare prin topire şi prin presiune, dintre care importanţă mai mare prezintă

TABELUL 25.5

Dimensiunile rosturilor îmbinărilor sudate în colţ exterior

Nr. crt.	Denumirea îmbinărilor	Fig. 25.13.	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului					
				s, mm	b, mm	α, °	c, mm	h	Obs.
1	În L pe muchie (cu completarea la rădăcină)	1	G E	<6 >3	0—2 0—2	60—120 60—100	—	—	b — abaterea la asamblare
2	În L pe muchie suprapusă (cu completare la rădăcină)	2	E F MAG	>2 9—14 2—12	— 0—3 0—2	80—100 90 70—100	— 1—4	s_1 $0{,}5 \cdot s$ $0{,}5 \cdot s$	sudură de completare prin E sau MAG
3	În L cu rost în I pe suport de oţel	3	E F	2—8 ⩾10	1—8 ⩾3	—	—	—	$n = 1{,}5...2$ $m = 10...20$
4	1/2V pe suport de oţel	4	E MAG	3—20 3—20	2—8 2—8	25—35 35—45	—	—	$n = 1{,}5—4$ $m = 10...20$
5	În L cu rost în V pe suport de oţel	5	E F MAG	6—15 6—18 3—20	3—5 3—5 2—8	30—40 30—45 35—45	— 6—8 —	—	$n = 2{,}5...6$ $m = 10...25$
6	1/2Y cu completare la rădăcină	6	E MAG	3—20 8—25	0—3 0—2	45—55 40—55	1—3 1—3	—	
7	În L cu rost în Y (cu completare la rădăcină)	7	E F MAG	5—20 5—25 12—25	1—3 ⩽1 0—2	55—65 45 40—50	1—3 3—6 0—3		completare prin E, MAG
8	În L cu rost în 1/2U	8	E F	⩾15 ⩾15	0—3 0—4	16—20 10—15	1—3 5—10	$r = 7$ $r = 12$	suport de oţel
9	În L cu rost în U	9	E F	⩾15 ⩾12	0—3 0—2	16—22 20	1—3 1—10	$r = 4$ $r = 6$	completare la rădăcină
10	În L pe muchie specială	10	G	1—3	0—1	—	—	s	fără metal adaos

TABELUL 25.6

Dimensiunile rosturilor îmbinărilor sudate în T

Nr. crt.	Denumirea îmbinării	Fig. 25.14.	Metoda de sudare	Dimensiunile rostului				
				s, mm	c, mm	α, °	e, mm	Obs.
1	În T sudat dintr-o parte	1	E F	2—6 3—10 ⩾3	0—2 0—1,5 0—2	—	—	
2	În T sudat din ambele părți	1	E F MAG	⩾6 ⩾10 ⩾3	— 0—2 0—2	—	—	
3	În T cu rost 1/2Y (cu completare la rădăcină)	2	E F MAG WIG	3—20 5—10 8—25 3—20	0—3 0—1 0—2 1—3	45—55 45—60 45—55 50—60	0—2 0—4 0—3 1—2	
4	În T cu rost 1/2V sudat pe suport de oțel	3	E MAG	3—20 3—20	2—6 2—6	35—45 25—45	—	$n = 1{,}5...4$ $m = 15...20$
5	În T cu rost 1/2U	4	E	⩾15	1—3	25—35	1—3	$r = 7$
6	În T cu rost K sudat din ambele părți	5	E F MAG WIG	12—40 10—60 12—40 8—40	1—3 0—2 0—2 1—3	45—55 45—60 40—50 50—60	0—2 3—6 3—5 1—2	
7	În T cu rost dublu 1/2U	6	E F	⩾15 ⩾50	1—3 0—1	20—30 10—15	2—3 6—8	$r = 7$ $r = 12$
8	În T între 3 table	7	E	8—12	s_1	—	—	$h =$ min. 2,5
9	În T între 3 table	8	E	⩾12	min. 8	—	—	

acelea care permit realizarea unor îmbinări sudate de calitate superioară, cu productivitate mai mare și la un cost de fabricație cît mai redus.

Preîncălzirea este o măsură tehnologică pentru reducerea pericolului de fisurare și rupere fragilă a construcțiilor sudate. Influența favorabilă a preîncălzirii înaintea sudării se manifestă prin reducerea vitezei de încălzire, favorizarea îndepărtării incluziunilor de zgură, reducerea vitezei de răcire și astfel evitarea structurilor de călire, micșorarea pericolului de fragilitate etc. Preîncălzirea ridică însă mult costul de fabricație; de aceea, trebuie aplicată numai în cazuri bine justificate, cînd toate celelalte măsuri de reducere a pericolului de rupere fragilă au fost epuizate. În consecință, preîncălzirea se aplică în următoarele cazuri:

— sudarea oțelurilor din grupele de sudabilitate *Ib; II* și *III;*
— sudarea manuală a oțelurilor cu grosime peste 30 mm;
— sudarea la temperaturi scăzute;
— sudarea metalelor și aliajelor cu conductibilitate termică ridicată.

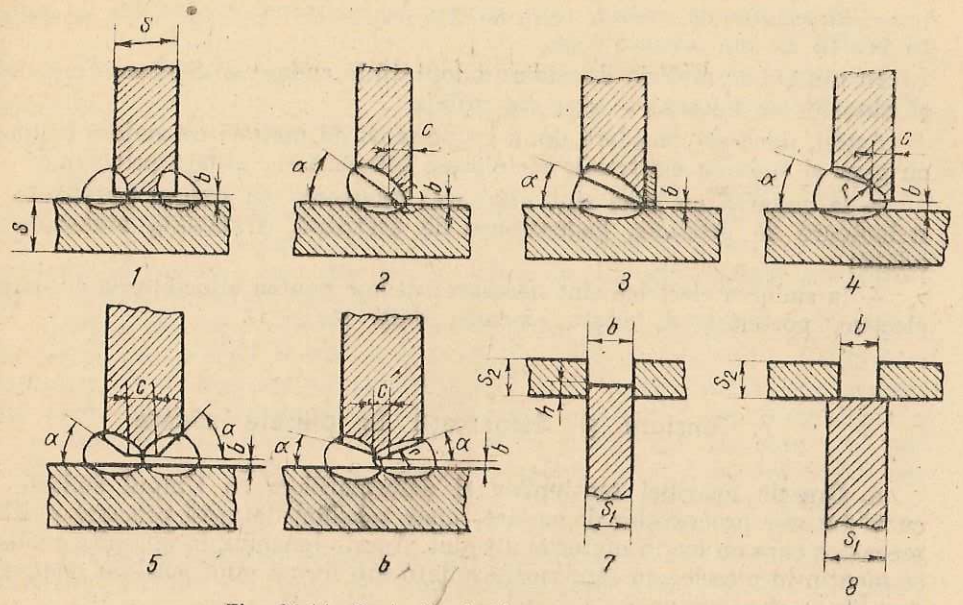


Fig. 25.14. Rosturile îmbinărilor sudate în T.

Temperatura de preîncălzire se stabilește în funcție de calitatea metalului de bază, complexitatea și rigiditatea construcției, grosimea materialului, metoda de sudare, felul îmbinării etc.

Regimul de preîncălzire variază de asemenea în funcție de factorii de mai sus.

Sudarea cu preîncălzire simplă constă în încălzirea componentelor înainte de sudare, operația de sudare executîndu-se în aer liber în timpul răcirii acestora. Pentru reducerea vitezei de răcire, construcțiile se împachetează în plăci de azbest sau în nisip. Acest regim se aplică la construcțiile sudate masive, cu pereți groși, cu număr mai redus de cusături de complexitate mică, realizate din oțeluri carbon sau slab aliate.

Sudarea cu încălzire continuă se execută la cald, construcția fiind continuu în cuptor, iar cusăturile fiind executate prin deschiderea cuptorului. Se aplică la construcțiile cu pereți subțiri, de formă complicată, cu multe cusături care se intersectează, din oțeluri cu sudabilitate limitată sau necorespunzătoare.

Sudarea cu încălzire ulterioară se realizează prin introducerea construcției în cuptor, imediat după sudare, și se aplică la construcțiile mici cu un număr redus de îmbinări, de grosime mare.

Sudarea cu încălzire combinată se aplică la construcțiile preîncălzite în cuptor; în acest scop, construcțiile sînt scoase în aer liber, sudate și apoi iarăși introduse în cuptor. Se aplică la sudarea oțelurilor ușor călibile, preîncălzite la temperaturi mai mari de 500°C.

Mecanizarea și automatizarea producției de construcții sudate pot fi realizate numai prin utilizarea pe scară largă a diferitelor dispozitive de asamblare și sudare. Deci, dispozitivele utilizate pentru fabricarea construcțiilor sudate se clasifică în funcție de scopul lor, și anume:

— *dispozitive de asamblare-montare*, care servesc la fixarea elementelor constructive în poziție de sudare;

— *dispozitive de sudare*, care servesc la realizarea cordonului de sudare în poziții cît mai avantajoase.

În funcție de metoda de sudare adoptată la sudare și debitarea metalelor și aliajelor se folosesc o serie de utilaje.

Astfel, dacă se consideră două grupe mari de metode de sudare (sudarea cu gaze și sudarea electrică), se folosesc următoarele utilaje principale:

— la sudarea cu gaze sînt necesare: recipiente cu oxigen prevăzute cu reductoare de presiune, generatoare de acetilenă, arzătoare, materiale de adaos;

— la sudarea electrică sînt necesare: utilaje pentru alimentarea cu curent electric, portelectrod, clești, ciocane, dălți etc.

7. Tensiuni și deformații în piesele sudate

a. Cauzele apariției tensiunilor și deformațiilor. În timpul sudării, în cazul tuturor procedeelor de sudare, apar tensiuni datorită proceselor fizico-mecanice care au loc în materialul sudat. Aceste tensiuni, în anumite condiții, se mențin în piesele sau structurile sudate sub forma unor *tensiuni remanente* numite *tensiuni reziduale.*

Existența tensiunilor se poate pune în evidență prin deformațiile apărute în piesele sudate, iar cunoașterea mărimii tensiunilor permite să se aprecieze corect capacitatea de încărcare a structurilor sudate.

În figura 25.15,*a* este reprezentată o bară sudată la capete, care, fiind liberă, la încălzire s-a dilatat cu o lungime ΔL și după răcire a revenit la lungimea inițială L_0. Dacă bara se fixează însă la cele două capete (fig. 25.15,*b*), la încălzire, în timpul sudării, vor apărea tensiuni de compresiune, deoarece bara nu se poate dilata. La răcire, construcția va fi împiedicată astfel că în bară vor apărea tensiuni de întindere, iar bara se va deforma.

Factorii care determină apariția tensiunilor și deformațiilor în piesele și structurile sudate sînt: rezistența structurii la contracția liberă a metalului sudat; dilatarea metalului; limita de curgere a metalului de bază și a celui

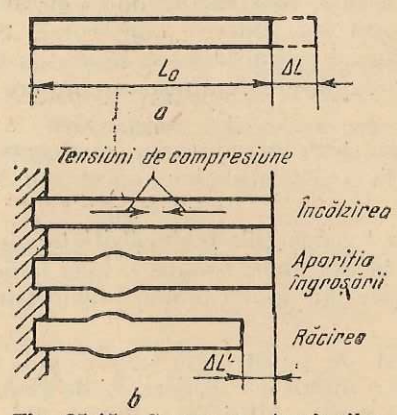


Fig. 25.15. Generarea tensiunilor și deformațiilor:
a — bară liberă; *b* — bară încastrată la ambele capete.

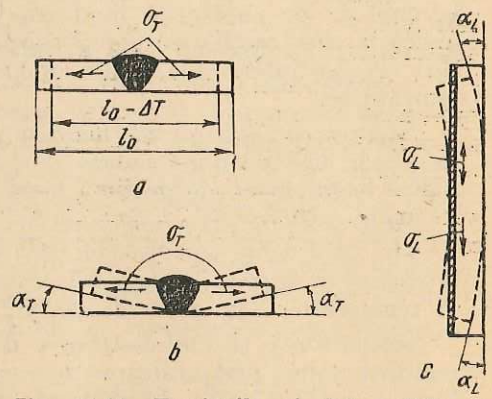


Fig. 25.16. Tensiunile și deformațiile în piesele sudate cap în cap.

de adaos; gradientul de temperatură determinat de neuniformitatea cîmpului termic, atît în secțiunea cusăturii, cît și în lungul acesteia.

Tensiunile și deformațiile mai sînt, de asemenea, influențate de geometria îmbinărilor sudate care au tendința să provoace deplasări unghiulare dintre componentele sudate (fig. 25.16).

În cazul *îmbinărilor cap în cap* se formează:

— *contracția transversală* (fig. 25.16,*a*) determinată de faptul că cele două componente sînt împiedicate să se dilate și să se contracte liber. Ca urmare, în piesa sudată apar tensiuni transversale de întindere σT, care, dacă depășesc rezistența la rupere a materialului, provoacă fisuri longitudinale în cusătură sau în zona influențată termic;

— *rotația componentelor* (fig. 25.16,*b*) în jurul axei cusăturii datorită încălzirii neuniforme a feței pe care se sudează în raport cu fața opusă. Se produce o rotire a componentelor cu un unghi αT; dacă această rotire este împiedicată apar tensiuni de întindere σT care pot produce fisuri longitudinale;

— *îndoirea componentelor* (fig. 25.16,*c*), în jurul unei axe care este perpendiculară pe axa cusăturii și în planul componentelor determinată de contracția mai mare pe fața care s-a realizat sudarea față de cea opusă.

La *îmbinările de colț* apar următoarele tensiuni și deformații:

— *contracția transversală* care poate provoca rotirea componentelor verticale (fig. 25.17,*a*) sau îndoirea componentelor orizontale (fig. 25.17,*b*). Dacă aceste contracții sînt împiedicate se formează tensiuni transversale de întindere σT, care, dacă depășesc rezistența materialului la rupere, determină apariția fisurilor longitudinale.

La piesele și construcțiile sudate pot apărea tensiuni proprii cu caracter *temporar* sau tensiuni *remanente.*

Tensiunile temporare dispar odată cu încetarea acțiunii factorilor externi, de exemplu: tensiuni de montaj (fixarea penelor, strîngerea șuruburilor etc.).

Tensiunile remanente depășesc limita deformațiilor elastice provocînd deformații permanente, la încetarea acțiunii externe.

Tensiunile remanente se pot împărți în două grupe:

— *tensiuni disperse* determinate de modificările structurale ale metalului și care se manifestă la nivelul grăunților, fiind independente de forma piesei; aceste tensiuni mai poartă denumirea și de *tensiuni structurale;*

— *tensiuni orientate* sau *macroscopice* care se manifestă în volume de metal relativ mari de același ordin de mărime ca și dimensiunile piesei, avînd o acțiune de deformare globală a îmbinării sudate.

În cazul pieselor și structurilor sudate prezintă importanță, îndeosebi, tensiunile remanente orientate, care influențează asupra comportării la solicitările exterioare ale îmbinărilor sudate.

b. Metode pentru reducerea tensiunilor remanente. Pentru reducerea tensiunilor remanente din piesele și structurile sudate se aplică *tratamentul termic de detensionare.* Acest tratament termic prezintă și alte efecte favorabile

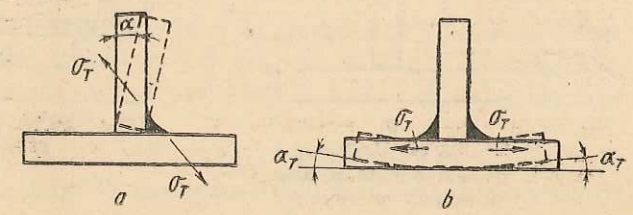


Fig. 25.17. Tensiunile și deformațiile în sudurile de colț.

asupra îmbinărilor sudate, cum ar fi: mărește stabilitatea dimensională, reduce sensibilitatea materialului metalic la coroziune și micșorează probabilitatea ruperii fragile.

În funcție de volumul și complexitatea structurilor sudate, detensionarea se poate aplica asupra întregii structuri sau numai local adică în zonele adiacente cusăturii.

În cazul oțelurilor carbon sau slab aliate, temperatura de detensionare este de 550—650°C, iar durata de menținere la această temperatură depinde de grosimea pereților pieselor sudate. Astfel, la grosimi de 10—20 mm se recomandă o detensionare de 3 h, iar la grosimi mai mari durata de menținere este de 4 h.

Reducerea tensiunilor remanente și stabilizarea dimensională a structurilor sudate se realizează și cu ajutorul ultrasunetelor de joasă frecvență (în gama kHz).

c. **Metode de reducere a deformațiilor.** Pentru reducerea deformațiilor din piesele și structurile sudate se aplică: metode mecanice; metode tehnologice și ciocăniri locale.

a) *Metodele mecanice* de reducere a deformațiilor cuprind:

— *poziționarea componentelor* (fig. 25.18,*a*), în cazul sudurilor cap în cap și de colț (fig. 25.18,*b*), înaintea sudării, astfel încît, după sudare, să se obțină geometria necesară. De asemenea, se poate aplica și o predeformare a componentelor înainte de a fi sudate;

— *fixarea rigidă a componentelor* în dispozitive masive care împiedică apariția deformațiilor în piesele și structurile sudate însă metoda introduce tensiuni. Mărimea tensiunilor introduse prin fixarea în dispozitive nu trebuie să depășească rezistența materialului la rupere. În caz contrar apar fisuri și chiar ruperi în timpul sudării;

— *prinderea provizorie* cu suduri scurte (fig. 25.19) în lungul rostului cu lungimea de prindere de 20—50 mm și la distanța de 300—500 mm.

b) *Metodele tehnologice* de reducere a deformațiilor se referă la:

— *preîncălzirea* componentelor de sudat sau uniformizarea cîmpului termic folosindu-se viteza de sudare mare;

— *rosturile simetrice* și cusăturile efectuate prin treceri balansate. În acest fel, deformațiile introduse de o trecere realizată pe o parte se compensează de trecerea următoare realizată pe fața opusă. La rosturile nesimetrice se execută unghiul cît mai mic posibil;

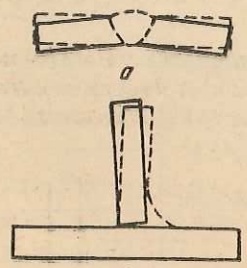


Fig. 25.18. Poziționări de componente pentru obținerea geometriei dorite la piesele sudate.

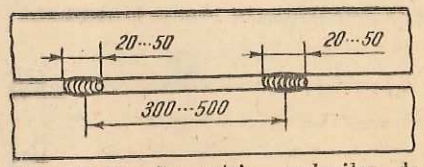


Fig. 25.19. Geometria sudurilor de prindere provizorie.

— *materialele de adaos* care pot conferi cusăturii plasticitatea ridicată în măsură să suporte deformații locale însemnate fapt ce produce micșorarea tensiunilor și implicit a deformațiilor.

c) *Ciocănirile locale* se execută, de obicei, cu ciocane pneumatice cu vîrf sferic, pentru îndreptarea pieselor deformate. Ciocănirea se execută sub o presiune a aerului comprimat de 6—6,5 daN/cm^2.

În vederea aplicării ciocănirilor, materialul se încălzește local în prealabil cu o flacără oxiacetilenică pînă la culoarea roșie-cireșie, în cazul oțelului, apoi la răcire se execută îndreptarea.

d. **Factorii fragilizați în piesele sudate.** În piesele și structurile sudate, tensiunile introduse în procesul de sudare și localizate în zonele adiacente cusăturii și tensiunile apărute în timpul funcționării piesei creează concentrații de tensiuni puternice. Dacă materialul sudat are suficientă plasticitate, astfel, ca, prin deformații locale, să diminueze concentrațiile de tensiuni create, atunci nu se produce fisurarea pieselor. Pierderea locală a plasticității creează posibilitatea formării fisurii sub efectul concentrațiilor de tensiuni.

Pierderea plasticității oțelurilor este determinată de mai mulți factori fragilizanți care acționează individual sau simultan.

1) *Fragilizarea prin îmbătrînire.* La oțeluri, îmbătrînirea se manifestă prin pierderea plasticității în decursul timpului. Perioada de timp pentru pierderea plasticității variază între cîteva luni și zeci de ani, în funcție de natura oțelului.

La piesele și structurile sudate fragilizarea prin îmbătrînire apare la oțelurile deformate la rece, îndeosebi, în domeniul de temperaturi de 200—400°C.

2) *Fragilizarea prin detensionare.* Aceasta se produce la oțeluri cu grosimi mai mari de 30 mm deoarece în zona influențată termic pot apărea constituenții structurali duri și fragili care reduc plasticitatea. Fenomenul de fragilizare la detensionare apare mai frecvent la recipiente de presiune cu pereți groși.

8. Măsuri de tehnică a securității muncii și norme de prevenire și stingere a incendiilor în atelierul de sudare

Asigurarea respectării tuturor măsurilor de tehnică a securității muncii și de prevenire și stingere a incendiilor în atelierul de sudare este o sarcină permanentă a celor care organizează sau contribuie la desfășurarea procesului de producție.

La executarea construcțiilor sudate se pune în primul rînd problema normelor pentru lucrările de sudură, dar trebuie avute în vedere o serie de alte norme privind prelucrările mecanice, prelucrările prin deformare plastică, transport uzinal etc.

a. **Măsuri de tehnică a securității muncii și de prevenire și stingere a incendiilor la sudarea cu arc electric.** Acestea pot fi grupate în funcție de caracterul procesului de sudare. În general, există pericolul de accidentare prin electrocutare, arsuri, iradieri și intoxicare.

Pentru evitarea *electrocutărilor*, tensiunile de mers în gol ale surselor de curent pentru sudare nu trebuie să depășească 80 V. Carcasele aparatelor

și dispozitivelor și construcțiile care se sudează trebuie să fie legate la pămînt. Nu se vor folosi conductoare improvizate, neizolate, cu contacte și legături slăbite, necorespunzătoare intensității curentului de sudare. Portelectrodul trebuie să fie izolat, resturile de electrozi trebuie eliminați imediat după sudare, iar portelectrodul se așază pe suporturi izolate. Sursele de curent se decuplează și se scot de sub tensiune chiar și în pauzele de lucru. Se vor folosi mănuși izolante, iar dacă se sudează în interiorul construcțiilor, respectiv pe sol umed se va lucra pe covoare de cauciuc.

Pericolul de *incendiu și arsuri* apare atunci cînd conductele și contactele electrice nu corespund intensității curentului de sudare sau dacă în apropierea locului de muncă au fost depozitate materiale inflamabile (benzină, uleiuri, gaze combustibile, lemne, cîrpe etc.).

Emisia de *raze ultraviolete* a arcului electric neacoperită este deosebit de periculoasă atît pentru ochi cît și pentru piele. Ca urmare, la sudare se folosește echipament de protecție format din măști și ecrane, mănuși, șorțuri și jambiere din piele sau azbest. De asemenea, trebuie asigurată protecția personalului din apropiere, cu ecrane, paravane și alte mijloace de protecție.

Pentru asigurarea protecției împotriva *gazelor* și a *fumului* provenit de la sudare, atelierul trebuie prevăzut cu o ventilație generală și o aspirație locală pe post de lucru.

b. **Măsurile de tehnică a securității muncii și de prevenire și stingere a incendiilor la sudarea cu flacără și la tăierea cu oxigen.** Acestea se referă la depozitarea și manipularea carbidului, exploatarea generatoarelor de acetilenă, a buteliilor de oxigen și acetilenă și la asigurarea procesului de sudare.

Astfel *carbidul* se depozitează în încăperi uscate, iluminate și încălzite din afară, carbidul manipulîndu-se cu grijă, evitîndu-se orice sursă de apă, umiditate, foc, scînteie care ar putea provoca explozii. Generatoarele de acetilenă se omologhează de către întreprinderi autorizate și se mențin în stare perfectă de funcționare. Încărcarea cu carbid se face respectîndu-se prescripțiile de granulație și evitîndu-se funcționarea în apropierea surselor de foc (distanță minimă 6 m). Se vor controla neetanșeitățile cu apă și săpun, iar la golire nămolul se depune la cel puțin 100 m de orice clădire. Generatoarele nu se lasă în funcțiune nesupravegheate, golindu-se și spălîndu-se după terminarea lucrului.

Buteliile de oxigen se manipulează cu atenție, evitîndu-se lovirea, trîntirea sau încălzirea lor peste 50°C. În mod deosebit trebuie evitat orice contact al buteliilor, reductoarelor sau furtunurilor de oxigen cu substanțe organice (uleiuri, unsori etc.), deoarece — prin autoaprindere în contact cu oxigenul sub presiune — pot produce explozii.

În butelii se lasă gaz sub o presiune de cel puțin 1,5 bar. Asemănător se manipulează și buteliile pentru acetilenă sau alte gaze comprimate. La acetilenă consumul nu poate depăși 2 000 l/min.

Sudarea cu flacără prezintă pericol de explozie din cauza neetanșeității și pericol de arsuri din cauza flăcării și a pieselor sudate. Flacăra amestecului de gaz se aprinde prin deschiderea robinetului de oxigen și apoi al celui de acetilenă, iar la închidere se procedează invers. Trebuie evitată supraîncălzirea arzătorului, deteriorarea lui și întoarcerea flăcării sau a oxigenului spre generator. Supapele de siguranță se vor întreține și încărca cu apă la nivelul necesar la începutul fiecărui schimb de lucru. Flacăra se va stinge imediat după întreruperea sau terminarea sudării. La tăiere, trebuie avută în vedere zgura incandescentă dislocată. În timpul lucrărilor se va purta ochelari cu sticlă colorată și mănuși de protecție.

c. **Măsurile de tehnică a securității muncii la sudarea prin presiune și rezistență electrică.** Acestea prevăd evitarea electrocutărilor și a arsurilor din cauza pieselor calde respectiv a stropilor și scînteilor degajate. Se poartă ochelari și mănuși de protecție.

În atelierul de sudură trebuie asigurate spațiile necesare producției și deservirii acesteia, căi de comunicații de 1,2 m lățime și căi pentru transportul materialelor. În hale de sudură se asigură temperatura de 16°C, umiditate de 30—70%, iluminare generală bună și un spațiu de cel puțin 12—15 m² de persoană. La alegerea utilajelor și materialelor de sudare se va ține cont și de reducerea nivelului de zgomot și îmbunătățirea condițiilor de muncă.

Capitolul 26

SUDAREA CU ARC ELECTRIC

1. Utilaje și materiale folosite

a. **Sursa de curent pentru sudarea cu arc electric.** *Clasificarea surselor de curent electric* pentru sudarea cu arc electric poate fi făcută după mai multe criterii:

După felul curentului se deosebesc:

— *surse de curent continuu* care pot fi generatoarele de sudare ce formează o construcție compactă, la care rotoarele motorului și generatorului se montează pe un arbore comun într-o carcasă și se numesc *grupuri convertizoare*. Dacă generatorul de curent este antrenat de un motor cu ardere internă, se numește *grup electrogen*;

— *surse de curent alternativ* care sînt aparate electrice ce transformă curentul electric de la rețea în curent de sudare cu frecvența de la rețea sau cu o frecvență ridicată.

După curentul maxim de sudare se deosebesc:

— *surse pentru curenți de sudare* reduși pînă la maximum 180 A, destinate sudării manuale cu electrozi între 1,5 și 4 mm;

— *surse pentru curenți de sudare pînă la 350 A*, destinate sudării manuale cu electrozi cu diametrul de 2—6 mm și montate pe roți;

— *surse pentru curenți de sudare mari* (600—1 000 — 1 500 A), destinate sudării manuale cu electrozi groși peste 8 mm diametru și sudării semiautomate și automate. Grupurile și transformatoarele pînă la 1 000 A sînt montate pe roți, iar în cazul alimentării mai multor posturi sînt staționare.

Sursele de curent de sudare nu lucrează în curent maxim indicat în clasificarea anterioară, ci mult mai redus. Regimul de lucru nominal se caracterizează prin curentul de sudare la o *durată activă* de funcționare $DA = 60\%$, pentru un ciclu de lucru cu o durată de 5 min. Regimul de lucru continuu cu durată activă $DA = 100\%$, este regimul la care durata de funcționare la sarcină nominală poate fi continuuă fără o încălzire excesivă.

1) *Surse de curent continuu*. Sursele de curent continuu pot fi grupuri de sudare și redresoare.

În completul *grupului de sudare* sînt cuprinse în general următoarele elemente:

— generatorul de curent;
— motorul de antrenare al generatorului;
— tabloul de comandă;
— trenul cu roți pentru deplasare, pentru cele mobile.

În figura 26.1 este reprezentat grupul CS—500, fabricat de IR București, destinat sudării prin mai multe procedee: cu electroni înveliți, în mediu CO_2, sub strat de flux etc. Caracteristicile tehnice ale generatorului sînt date în tabelul 26.1. La sudarea sub strat de flux și în mediu de CO_2, ținînd seama că

TABELUL 26.1

Caracteristici tehnice ale generatorului CS-500

Durata activă DA, în %	35	55	70	100
Curentul de sudare, în A	625	500	440	370
Tensiunea arcului, în V	44	38	36	34

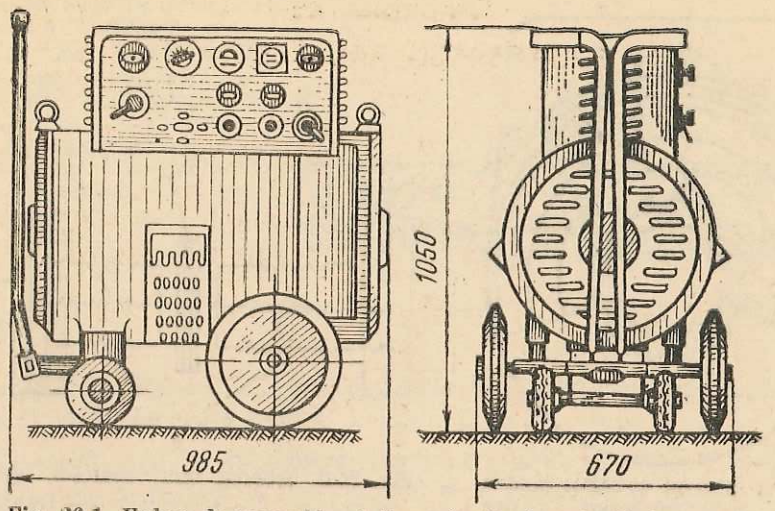


Fig. 26.1. Vedere de ansamblu și dimensiunile de gabarit ale grupului de sudare CS-500.

durata activă DA = 100%, curentul maxim de sudare este 370 A, la o tensiune de 34 V. Caracteristicile se schimbă cu un mîner, care fixează poziția crucii portperii (fig. 26.2); poziția între 0,8 și 1 a caracteristicilor coborîtoare se folosește pentru sudarea cu electrozi înveliți, iar cea între 1 și 1,2 pentru sudarea sub strat de flux.

Placa de borne pentru curenții de sudare a generatorului este prevăzută cu patru borne:

— borne-electrod, pentru legarea cablului de sudare a cleștelui portelectrod;
— borna 50—500 A, pentru legarea cablului de sudare în primele patru domenii;
— borna 350—625 A, pentru legarea cablului de sudare în domeniul al 5-lea;
— borna caracteristicii rigide, pentru legarea cablului de sudare în mediul de CO_2.

Pe tabloul de comandă mai sînt:

— comutatorul stea-triunghi, pentru pornirea și oprirea motorului de antrenare;
— placa de borne pentru legarea grupului la rețeaua electrică;
— comutatorul-pachet, pentru schimbarea polarității;
— voltmetru și ampermetru.

Motorul de antrenare al grupului este un motor asincron trifazat și poate fi legat la tensiunile rețelei de 220—500 V.

După instalarea la locul de muncă, grupurile trebuie legate la pămînt prin bornele lor speciale. Dacă la pornirea cu comutatorul stea-triunghi, sensul de rotație nu corespunde cu cel indicat pe plăcuță, se vor schimba între ele două faze. Comutatorul domeniilor de curent se așază pe poziția necesară înainte sau după pornirea grupului, iar curentul de sudare se reglează cu reostatul de excitație.

La *redresoarele* pentru sudări (fig. 26.3) care transformă curentul electric alternativ în curent electric continuu se folosesc semiconductoare, care se montează în scheme de redresoare, în general în punte trifazată.

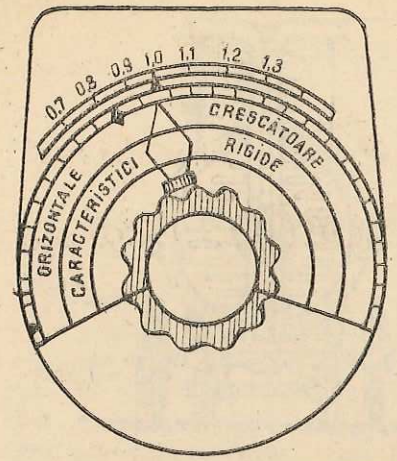


Fig. 26.2. Mînerul de calare pentru reglarea caracteristicilor statice coborîtoare și rigide ale generatorului grupului CS-500.

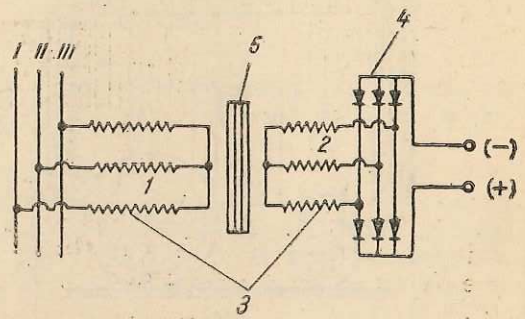


Fig. 26.3. Schema unui redresor de sudare: *1* — primar; *2* — secundar; *3* — transformator; *4* — redresor; *5* — pachet de dispersie; *I, II, III* — rețea de alimentare.

2) *Surse de curent alternativ.* Sursele de curent alternativ pentru sudare pot fi transformatoarele de sudare și grupurile de generatoare de frecvență mărită (150 Hz, 300 Hz).

a) *Transformatoarele de sudare* sînt aparate care funcționează cu caracteristici coborîtoare; în acest scop, ele au o inductanță care asigură decalajul între tensiune și curent. Transformatoarele de sudare modifică parametrii puterii electrice de la o rețea electrică cu tensiune de 200—500 V la tensiunea necesară sudării cu intensitate mare de curent.

Avantajele transformatoarelor constau în faptul că nu au organe în mișcare; de aceea durata lor de serviciu este mare și nu necesită întreținere; au randamentul aproape de două ori mai mare decît convertizoarele și au costul de fabricație sub 20% din cel al unui convertizor. Transformatoarele prezintă dezavantajul că nu pot fi folosite la sudarea cu electrozi cu înveliș bazic sau cu învelișuri subțiri.

Transformatoarele de sudare TASM—300, fabricate de Întreprinderea „Electrotehnica" București, sînt prevăzute în interiorul miezului transformatorului cu un miez mobil (șunt magnetic), cu ajutorul căruia se pot obține variații ale curentului în limite mari (75—480 A). Principalele lui caracteristici sînt:

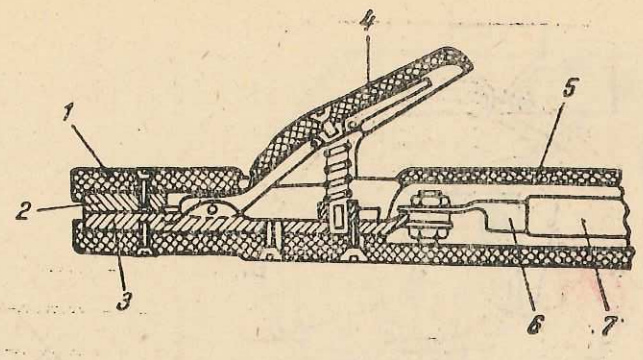
— curentul nominal, în A — 300;
— durata activă DA, în % — 60;
— tensiunea de lucru, în V — 32;
— tensiunea de alimentare, în V — 220; 380; 500.

Transformatorul are două trepte de reglare a curentului de sudare: treapta I (75—230 A) și treapta a II-a (220—480 A).

Introducerea sub tensiune a transformatorului se execută după legarea bornei la pămînt.

b) *Generatoarele sincrone monofazate cu frecvențe mărite* antrenate de motoare asincrone alimentate la tensiuni de 220 sau 300 V. Se folosesc pentru sudare. Acestea se construiesc pentru curenți de sudare de 120—450 A (la DA=60%), cu frecvență de 150, 300 și 450 Hz. Aceste generatoare sînt mult

Fig. 26.4. Portelectrod complet izolat, tip *II*, varianta *A*: *1* — plăci de bachelită; *2* — bec superior de fontă; *3* — bec inferior de bronz; *4* — mîner din bachelită textilă; *5* — mîner portelectrod; *6* — papuc; *7* — cablu de sudură.



mai scumpe, sînt inferioare convertizoarelor de curent continuu, fapt pentru care sînt folosite pe scară redusă.

b. **Accesorii, scule și dispozitive folosite.** *Cablurile de sudare* folosesc pentru conducerea curentului la portelectrod și la clema de contact a piesei de lucru. Este o construcție multifilară din sîrme de cupru electrolitic acoperite cu o înfășurare din fire de bumbac și izolație de cauciuc. Secțiunea cablului se alege în raport cu diametrul electrozilor. Pentru sudarea cu electrozi cu diametrul pînă la 3,5 mm se folosesc cabluri cu secțiuni nominale de 25 mm²; pînă la 4 mm, de 35 mm²; pînă la 5 mm, de 50 mm². Lungimea cablului nu trebuie să depășească 5 m. Pentru lungimi mai mari de 5 m se vor lua secțiuni standardizate mai mari.

Legăturile dintre cabluri se execută cu *racorduri fixe* sau *demontabile*, cu ajutorul cărora se obțin contacte bune, complet izolate.

Pentru legarea la clește și clema de contact, cablurile se vor cositori.

Cleștele portelectrod servește la conducerea electrodului prins în el, pentru realizarea cordonului de sudură. Cleștele portelectrod trebuie să fie ușor la manipulare și să prezinte siguranță sudorului împotriva electrocutării.

În figura 26.4 este reprezentat un electrod complet izolat, pentru curenți pînă la 400 A, avînd masa de 400 g, la care conectarea cablului se face prin intermediul unui papuc.

Clema de contact servește la conducerea curentului de la sursa de curent la masa sau piesa de lucru. Se prinde de masă sau piesă cu un șurub de presiune (fig. 26.5).

Sculele necesare sudorului sînt:

— ciocanul de sudor pentru curățirea zgurii, cu un capăt în formă de daltă, iar celălalt ascuțit;

— ciocanul cu cap rotund pentru ciocănirea sudurii;

— dalta pentru îndepărtarea stropilor de sudură și ciocanul obișnuit;

— peria de sîrmă de oțel pentru curățirea zgurii sau ruginii. Este indicat ca pentru curățirea stropilor să fie folosit un ciocan pneumatic.

Echipamentul de protecție îl constituie:

— masca și ecranul de mînă pentru protecția ochilor, a feței și a gîtului; sînt executate din

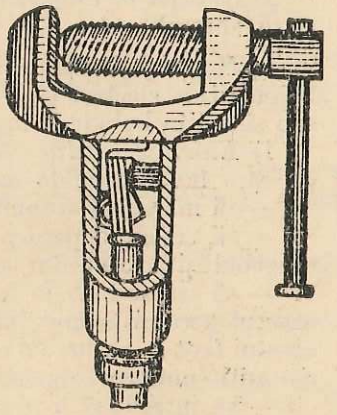


Fig. 26.5. Clemă de contact la masă folosită pentru grosimi de perete pînă la 50 mm și curenți pînă la 400 A.

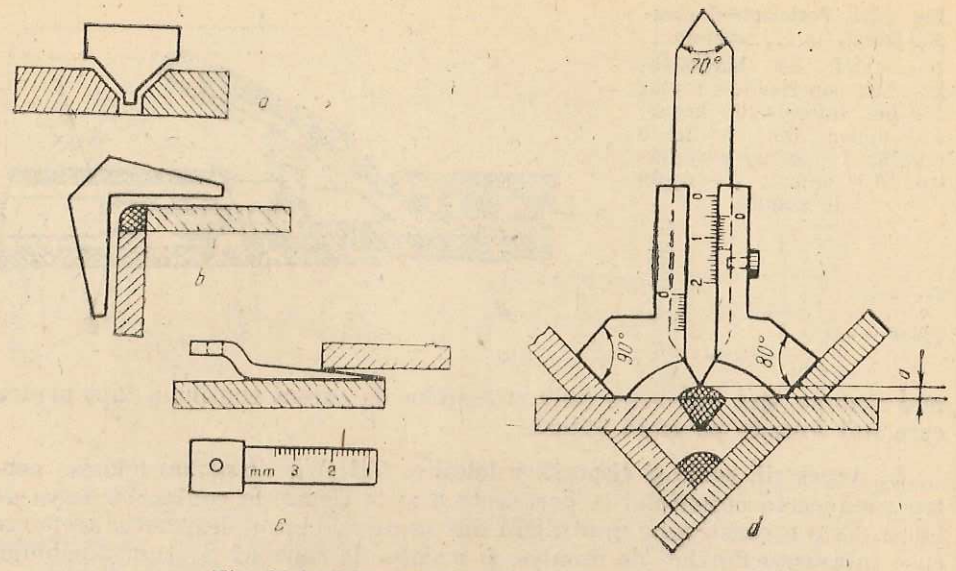


Fig. 26.6. Şabloane şi calibre pentru control:
a — şablon pentru controlul prelucrării rosturilor; *b* — şablon pentru controlul perpendicularităţii tablelor; *c* — calibru pentru interstiţiu dintre două table suprapuse; *d* — şablon universal; *1* — vernier.

materiale rezistente la căldură, cu masa de 600—650 g, avînd filtrele pentru măşti din sticlă colorată verde-închis;
— mănuşi cu cinci sau mai puţine degete;
— şorţurile cu pieptar, cu umerar sau şorţ scurt;
— bocanci sau jambiere.

Toate materialele de protecţie sînt din piele.

Şabloane şi calibre de măsurare (fig. 26.6) pentru controlul rostului, al prelucrării corecte a marginilor, al denivelării pieselor, al marginilor dintre ele, al dimensiunilor sudurilor executate.

Dispozitive de asamblare care servesc la prinderea pieselor în vederea alcătuirii ansamblurilor (fig. 26.7, *a* şi *b*).

d. Material de adaos. În cazul sudării cu arc electric, materialul de adaos îl constituie electrozii (sîrme). Aceştia pot fi neînveliţi, sub formă de vergele sau sîrmă în bobine şi înveliţi, sub formă de vergele.

1) *Electrozi înveliţi.* Aceşti electrozi sînt utilizaţi pentru rolul multiplu pe care învelişurile le îndeplinesc, şi anume:
— să mărească stabilitatea arcului electric format între electrod şi piesă;
— să creeze o perdea de gaze care să protejeze picăturile de metal de oxigenul şi azotul din aer;
— să creeze în baia topită un strat acoperitor de zgură care să împiedice accesul aerului la metalul lichid, să încetinească răcirea metalului; datorită acestui fapt se obţine un aspect frumos la suprafaţa sudurii sub formă de solzi mărunţi uniform repartizaţi;
— să introducă în cusătura sudată elemente de aliere, în cazul cînd în înveliş sînt introduse feroaliaje sau oxizi de metale. Numărul componenţilor ce formează masa de învelire a electrozilor poate ajunge la 15.

Clasificarea electrozilor înveliţi poate fi făcută după diferite criterii:

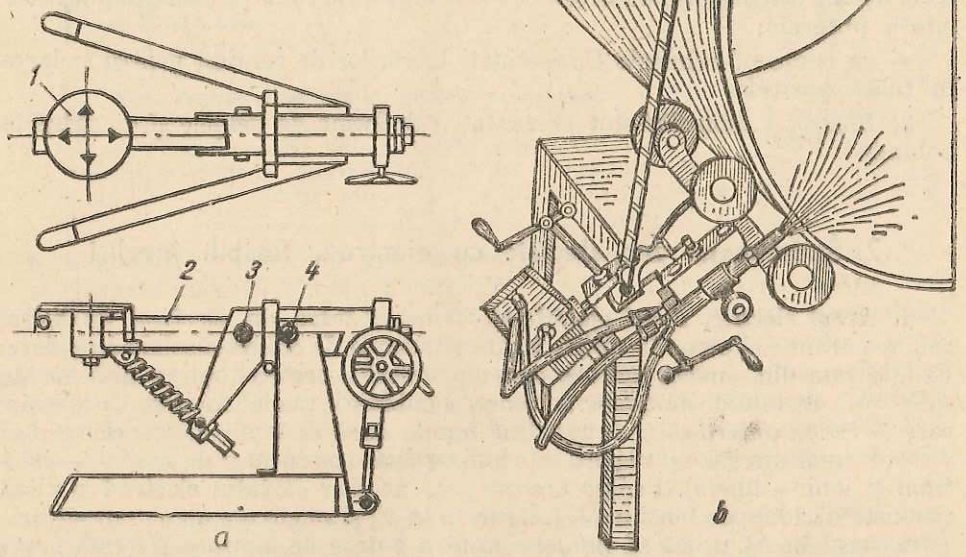


Fig. 26.7. Echipamente de manipulare pentru sudare şi tăiere:
a — poziţionară; *1* — mese de lucru; *2* — braţul mesei; *3*, *4* — pivoţi pentru poziţionarea mesei; *b* — rotitor pentru tăiat şi sudat tuburi.

— *După dimensiuni* (STAS 1125—69), electrozii înveliţi se fabrică cu grosimi, în mm, de 1,6; 2; 2,5; 3,15; 3,25; 4; 5; 6, iar la cerere de 6,5; 8; 10; 12,5 şi lungimi de 200—450, din 50 în 50 mm.

— *După grosimea învelişului*, electrozii pot fi:
— cu înveliş subţire, de grosime pînă la 10% din diametrul vergelei, folosiţi la construcţii de importanţă redusă, deoarece caracteristicile mecanice ale sudurii obţinute nu sînt superioare;
— cu înveliş mediu, de grosime între 10 şi 15% din diametrul vergelei, cu calităţi mai ridicate ale sudurii obţinute;
— cu înveliş gros, de grosime peste 25% din diametrul vergelei, folosiţi la construcţii importante;
— cu pulberi de fier în înveliş, la care componenţii de învelire sînt amestecaţi cu pulberi de fier.

— *După destinaţie*, electrozii pot fi:
— pentru sudarea de îmbinare a construcţiilor (EL);
— destinaţi lucrărilor de încărcare (EI), a căror depunere este dură, rezistenţă la uzură mare. STAS-ul 7241-69 prevede zece grupe de electrozi;

— alte tipuri, ca: electrozi pentru armături, scule aşchietoare etc., a căror livrare se face numai pe bază de înţelegere.

După natura învelişului, electrozii pot fi:

— cu înveliş acid *A*, destinaţi sudării oţelurilor carbon pînă la 0,25% C, însă pentru lucrările fără importanţă;

— cu înveliş titanic *T*, destinaţi sudării oţelurilor carbon pînă la 0,25% C şi a oţelurilor slab aliate cu Mn. În prezent, sînt cei mai întrebuinţaţi pentru lucrări curente;

— cu înveşli bazic *B*, destinaţi sudării oţelurilor slab aliate şi oţelurilor cu conţinut de carbon pînă la 0,49%; sînt folosiţi la sudarea construcţiilor solicitate puternic;

— cu conţinut celulozic *C*, destinaţi lucrărilor de şantier, pentru sudarea în toate poziţiile.

2) *Electrozii neînveliţi* sînt prezentaţi sub formă de vergele şi de sîrmă în bobine.

2. Sudarea cu arc electric cu electrozi fuzibili înveliţi

a. **Arcul electric.** Arcul electric se formează între un electrod de metal sau de cărbune şi piesa de sudat, legate la o sursă de curent electric de sudare. El este una din sursele termice cele mai folosite pentru topirea pieselor de sudat şi a metalului de adaos în vederea îmbinării. Arcul formează o descărcare electrică puternică şi se menţine numai dacă distanţa dintre electrod şi piesă, format din gaze şi vapori, este ionizat (este conducător de sarcini — electroni şi ioni — libere). Pentru aceasta este necesar ca între electrod şi piesă să existe o cădere de tensiune *U* (măsurată în V) şi să circule un curent electric *I* (măsurat în A), adică să fie dezvoltată o putere de ionizare *UI* (măsurată în waţi, W) suficientă ca atomii să se disocieze în ioni şi electroni, astfel încît aceştia să curgă continuu între electrod şi piesă.

Dacă electrodul este catod (este legat la polul negativ) şi piesa este anod, legătura se numeşte *directă*. Dacă electrodul este anod şi piesa catod, legătura se numeşte *inversă*. Temperatura la anod este întotdeauna mai mare decît la catod cu cîteva sute de grade, din cauza bombardamentului electronilor, care trec întotdeauna de la catod la anod.

În cazul sudării cu curent alternativ de frecvenţă joasă (50 Hz), pentru menţinerea arcului este necesar să se ia măsuri speciale de ionizare a intervalului. Dacă electrodul sau învelişul acestuia conţine elemente uşor ionizante (K, Na, Ca, Mg, Al) atunci arcul se menţine uşor.

Amorsarea arcului se face printr-un contact uşor al electrodului de piesă cînd se creează un scurtcircuit, iar intensitatea mare de curent dezvoltă o mare cantitate de căldură, care produce topirea asperităţilor superficiale ale catodului şi anodului în contact, astfel că poate începe emisia de electroni. Prin scurgerea electronilor către anod şi a ionilor pozitivi către catod, arcul se menţine sub formă de coloană, astfel încît circuitul electric este permanent stabilit între electrod şi piesă. Vîrful electrodului, fiind adus la incandescenţă, respectiv la topire, metalul trece în picături în sensul electrod—piesă, indiferent de polaritate. Iluminarea arcului fiind puternică, pentru urmărirea procesului este necesară folosirea unui geam colorat (vizor).

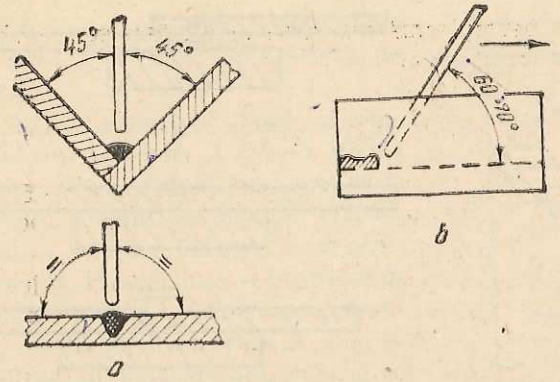


Fig. 26.8. Poziţia electrodului pentru executarea sudurilor orizontale:
a — poziţia electrodului faţă de planul vertical al cusăturii; *b* — poziţia electrodului faţă de planul orizontal.

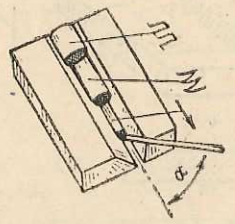


Fig. 26.9. Sudarea în V şi Y în poziţie orizontală.

b. **Tehnologia sudării cu arc electric cu electrozi înveliţi.**

1) *Tehnica sudării.* Pentru menţinerea arcului şi realizarea sudurii sînt necesare trei mişcări ale electrodului faţă de piesă: de apropierea electrodului pe măsura topirii acestuia, astfel încît arcul să fie menţinut la lungimea necesară (2—5 mm); o mişcare transversală, pendulară, pentru topirea marginilor de sudat şi pentru obţinerea lăţimii necesare a sudurii; mişcarea de înaintare a electrodului pe linia de sudură. După formarea arcului, electrodul se înclină la 20—30° faţă de verticală, imprimîndu-se cele trei mişcări, în vederea obţinerii rîndului de sudură.

Poziţia electrodului şi mişcările acestuia sînt în primul rînd influenţate de poziţia de lucru. Pentru sudarea în poziţie orizontală, în jgheab (fig. 26.8, *a* şi *b*), electrodul se ţine pe bisectoare, înclinat, faţă de linia de formare a cordonului, cu 60—70°, iar la executarea primului rînd al celui de-al doilea strat la poziţia în jgheab, axa electrodului trebuie să fie pe bisectoarea unghiului format între primul strat şi suprafaţa piesei. Aceeaşi poziţie se menţine şi la executarea rîndurilor straturilor de încărcare. Pentru sudarea în poziţie orizontală a îmbinărilor în V şi Y (fig. 26.9), pentru cele trei rînduri, care, în cazul reprezentat, formează straturi, electrodului i se vor imprima mişcările corespunzătoare lăţimilor de executat.

În figura 26.10 sînt reprezentate poziţiile şi mişcările electrodului în cazurile: sudarea orizontală pe perete vertical (fig. 26.10, *a*), sudarea orizontală de colţ cu un perete vertical (fig. 26.10, *b*), sudarea în cornişă, sudarea pe plafon (fig. 26.10, *c*) şi sudarea verticală (fig. 26.10, *d*).

2) *Sudarea tablelor şi a profilelor.* Tablele şi profilele subţiri (fig. 26.11) cu grosimea peretelui sub 1 mm se vor suda cu electrozi înveliţi, numai prin suprapunere (fig. 26.11, *a*), cu partea suprapusă peste o garnitură de cupru. Tablele cu grosimea între 1 şi 2 mm se sudează cap în cap (fig. 26. 11, *b*), fără interstiţii sau bordurate, aşezate pe o garnitură de cupru, sau pe o bandă de oţel sub rost, care rămîne sudată de table. Tablele cu grosimea de 2—3 mm, se sudează cap în cap (fig. 26.11, *c*) cu un mic interstiţiu. Tablele şi profilele subţiri sub 3 mm se recomandă a fi sudate cu curent continuu, de polaritate inversă (tabla fiind catod va avea o temperatură mai joasă).

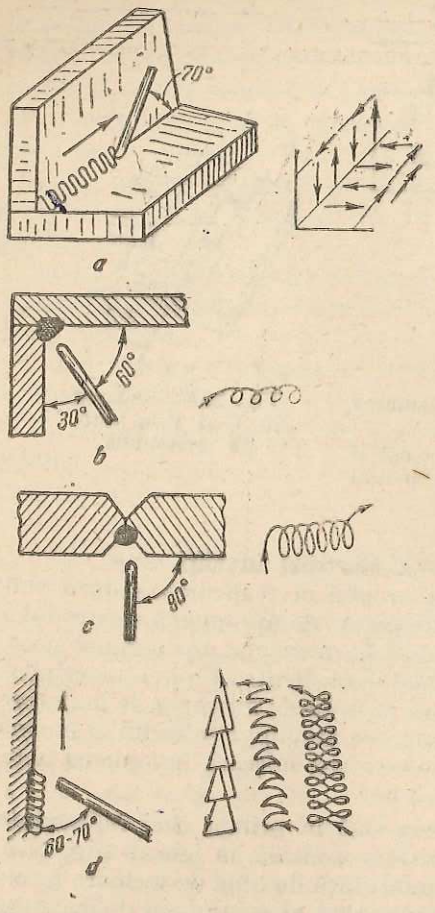


Fig. 26.10. Poziţiile electrodului şi mişcările acestuia în funcţie de poziţia de lucru:
a — sudarea orizontală de colţ cu un perete vertical; *b* — sudarea în cornişă; *c* — sudarea pe plafon; *d* — sudarea verticală.

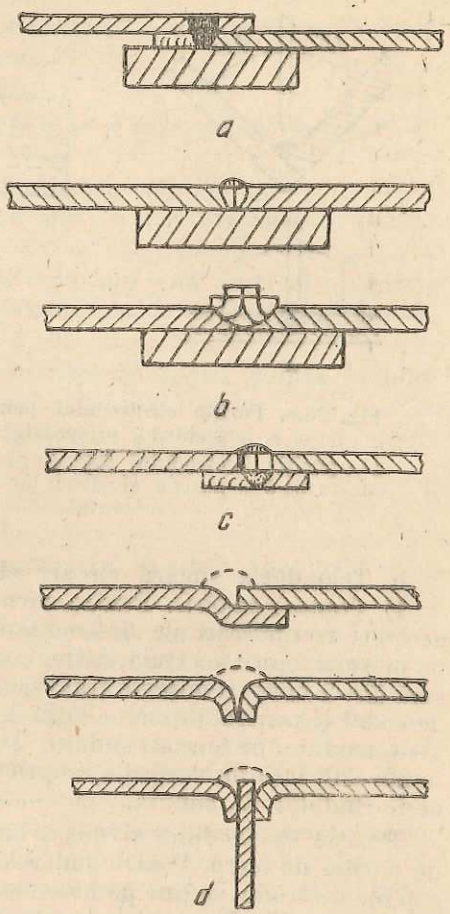


Fig. 26.11. Sudarea tablelor subţiri:
a, *b* — sudarea pe un suport de cupru; *c* — sudarea pe o garnitură de oţel; *d* — diferite dispoziţii de sudare.

Tablele cu grosime medie (între 3 şi 6 mm) se sudează în I, V, Y (fig. 26.11, *d*) pe muchie sau în găuri rotunde, pe una din părţi sau bilateral.

Atît tablele subţiri cît şi cele de grosime mijlocie se sudează în trepte inverse (fig. 26.12).

Tablele şi profilele cu grosime de peste 6 mm se sudează numai cu rosturile prelucrate. Pentru sudarea tablelor şi profilelor cu grosimi mari este indicată, în multe cazuri, preîncălzirea, iar succesiunea rîndurilor trebuie să corespundă grosimii sudurii, pentru a se preveni apariţia fisurilor.

3) *Sudarea fontelor*. Piesele care în mod obişnuit sînt supuse operaţiei de sudare sînt din fontă cenuşie, cu rezistenţa la rupere cuprinsă între 12 şi 32 daN/mm² şi alungirea pînă la maximum 3%. O îmbinare omogenă a două piese din fontă nu se poate obţine decît prin sudarea la cald, adică după

încălzirea pieselor la temperatura de 650—750°C, cu un electrod de fontă.

Deoarece fonta la atingerea temperaturii de topire (1 150—1 300°C) devine brusc lichidă, sudarea ei se execută numai în poziţie orizontală, în locaşuri delimitate cu plăci de grafit. Piesele mari se încălzesc în cuptoare special zidite, cu ajutorul cărbunelui de lemn. Piesele mici se încălzesc în cuptoare obişnuite şi se sudează în locuri ferite de curent.

La sudare este folosit curentul continuu, polaritate directă, luîndu-se 70—80 A pentru fiecare milimetru grosime de electrod. Procesul de sudare trebuie să fie neîntrerupt şi de aceea se recomandă ca piesele mari să fie sudate de doi sudori.

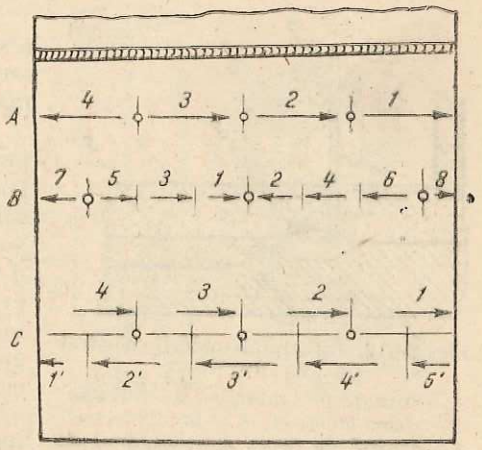


Fig. 26.12. Sudarea tablelor în trepte inverse:
A — sudarea cusăturilor scurte la table subţiri; *B* — sudarea cusăturilor lungi la table subţiri; *C* — sudarea pe ambele părţi sau în două straturi a tablelor mijlocii; *1, 2, 3, 4* — treptele de sudare.

Sudarea la rece a fontei se poate executa cu electrozi de Ni, Ni-Cu, feronichel, cupru-oţel etc. Pentru mărirea rezistenţei îmbinării se recurge şi la consolidarea marginilor de sudat cu şuruburi, scoabe etc.

4) *Sudarea de încărcare*. Încărcarea prin sudură se foloseşte în două situaţii:

— la recondiţionarea pieselor uzate, cînd încărcarea se face cu un material de adaos de aceeaşi calitate cu a materialului de bază;

— la fabricarea de produse noi, la care părţile active ale pieselor se încarcă de obicei cu materiale dure de compoziţie diferită de materialul de bază; piesele astfel obţinute se numesc *bimetalice*, iar operaţia, cînd încărcarea se execută în scopul măririi durităţii, se numeşte *încărcare dură*. Prin acest procedeu se execută, de exemplu, matriţele, ştanţele etc., care în trecut se executau integral din oţeluri aliate.

Pentru încărcarea diferitelor piese, cum sînt: sculele de prelucrare, armăturile, piesele de utilaje, solicitate la uzură abrazivă etc. în ţara noastră, conform STAS 7241-69, se fabrică numeroase mărci de electrozi pentru încărcare (EI) cu proprietăţi speciale. Pentru sudarea cu aceşti electrozi, se recomandă ca piesele de încărcat să fie preîncălzite la 300—450°C.

3. Sudarea automată cu arc electric sub strat de flux

Sudarea cu arc electric se pretează la automatizare şi se aplică la lucrări în serie, deoarece, deşi investiţiile instalaţiilor pentru sudarea automată sînt mari, productivitatea creşte corespunzător cu creşterea vitezelor de sudare şi depuneri de 5—15 ori faţă de sudarea cu electrozi înveliţi, ceea ce face ca metoda să fie avantajoasă.

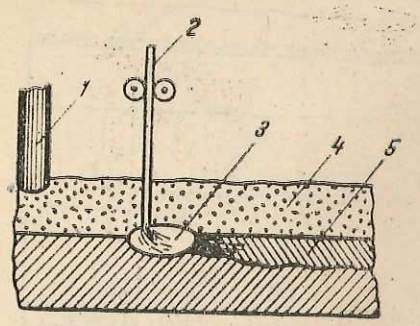


Fig. 26.13. Principiul sudării sub strat de flux:

1 — tubul de aducție a fluxului; *2* — sîrma-electrod; *3* — arcul electric; *4* — stratul de flux; *5* — cordonul de sudură.

La sudarea automată cu arc se folosește sîrma-electrod fuzibilă. Aceasta este antrenată continuu la baia de sudură pe măsură ce se topește (fig. 26.13).

Pentru ca baia de metal topit să fie protejată împotriva oxidării, arcul electric este acoperit de un flux granulat sub care el se menține, de unde metoda poartă denumirea *„cu arc electric sub strat de flux"*. Fluxul reduce pierderile prin stropire, camuflează radiațiile arcului, reduce cantitățile de fum și gaze degajate și asigură sudurii o calitate superioară.

La sudarea automată, operațiile de depunere a fluxului, de înaintare a sîrmei-electrod și de înaintare a capului pe linia de sudare se execută automat.

În țara noastră, sîrmele pentru sudarea sub strat de flux se fabrică în conformitate cu prevederile STAS-ului 1126-76 și limitează conținutul de S + P la 0,04%. Pentru asigurarea unui bun contact, sîrmele sînt cuprate lucios. Pentru sudarea oțelurilor carbon, sîrmele au un conținut mărit de Mn — iar pentru sudarea oțelurilor aliate corespunzător cu diferite elemente: mangan, siliciu, molibden, crom. Diametrele uzuale ale sîrmelor sînt între 1,2 și 5 mm. Sîrmele se livrează în colaci, diametrul bobinelor între 220 și 280 mm și masa de 10—20 kg.

Fluxurile se prezintă sub formă de granule între 0,1 și 4 mm și pot fi:

— *topite*, fabricate prin topirea componenților într-un cuptor, după care se granulează în apă. Componenții sînt minereuri de mangan, cuarț și fluorină, magneziu și aluminiu;

— *ceramice*, fabricate prin măcinarea fină a componenților (marmură, fluorină, oxid de aluminiu și feroaliaje), aglomerarea cu silicat de sodiu, granularea și apoi uscarea.

Sîrma și fluxul se aleg în funcție de calitatea oțelului de sudat. Pentru oțeluri carbon se aleg sîrmele aliate cu mangan și fluxuri lipsite de Mn sau invers; pentru oțelurile slab aliate se recomandă sîrme aliate corespunzător, cu limitarea de SPO_2 în flux de maximum 35%.

Grosimea stratului de flux care trebuie depus pe linia de sudură pînă la 20 mm pentru tablele subțiri și pînă la 60 mm pentru materiale groase. Fluxul netopit trebuie strîns și refolosit. Zgura strînsă și remăcinată poate fi folosită în amestec de 25% cu flux proaspăt.

Din punctul de vedere al modului de lucru, instalațiile pentru sudarea automată sub strat de flux sînt mobile (fig. 26.14) sau staționare. Instalațiile mobile pot fi aduse la ansamblurile de sudat iar în timpul operației de sudare capul de sudare este deplasat de-a lungul rostului de sudat, sudorul se deplasează odată cu tractorul de sudare. La instalațiile staționare, deplasările, în vederea sudării, sînt executate de piesa de sudat, iar sudorul supraveghează locul de pe platforma de lucru.

Din complexul unei instalații pentru sudarea automată fac parte: tractorul de sudare, pupitrul de comandă și sursa de curent, care poate fi un transformator sau un grup rotativ; instalațiile mai cuprind: conductoare electrice, șine pentru ghidarea tractorului, absorbitoare de flux, accesorii etc.

4. Sudarea cu electrod fuzibil

În ultimul timp, în cadrul construcțiilor de mașini s-au extins în mod deosebit construcția de piese prin metoda de asamblare prin sudare. O mare productivitate pentru sudarea pieselor mici și mijlocii are metoda de sudare cu sîrmă electrod fuzibilă cu funcționare semiautomată.

a. **Elemente componente ale instalației.** O instalație de sudare semiautomată cu sîrmă de electrod fuzibilă (A9/400) se compune din următoarele părți (fig. 26.15):

— transformatorul-redresor;

— cutia de comandă și control (derulatorul);

— policonductorul (tubul de legătură);

— pistoletul de sudare;

— regulatorul de presiune;

— butelia de gaz;

— compresorul.

Transformatorul-redresor (fig. 26.16), protejat într-o cutie de tablă cu două roți, are pe una din fețe panoul de comandă.

Cutia de comandă sau derulatorul (fig. 26.17) cu posibilitatea a de fi amplasată pe un redresor, pe un pivot suport sau pe sol, pe cele patru roți proprii. Cutia de comandă este împărțită în două compartimente ușor accesibile datorită capacelor laterale. Primul compartiment conține: bobina de sîrmă-electrod, motorul de împingere a sîrmei, mecanismul de alimentare cu sîrmă și blocul de cuplare. Al doilea compartiment se compune din: regulatorul de presiune al aerului, manometrul, releul pneumatic, filtrul de aer, electrovana de gaz.

Pe panoul din spate al cutiei sînt montate racorduri și conexiuni pentru curentul de comandă, gazul de protecție, curentul de sudare și aer comprimat.

Policonductorul de sudare (fig. 26.18) este constituit dintr-un tub exterior de cauciuc pînzat *1* continuînd împletitura de sîrmă de cupru *2* care conduce cu-

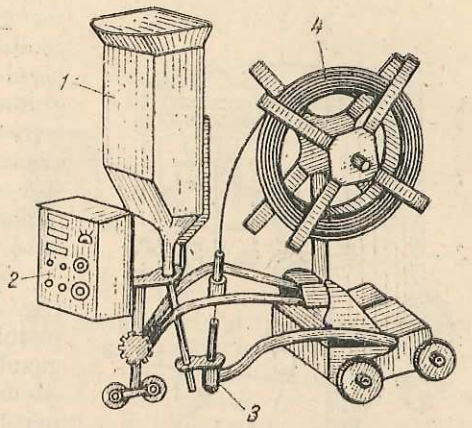


Fig. 26.14. Mașină de sudat sub strat de flux autoghidată și automobilă:

1 — buncăr cu fondant; *2* — panoul de comandă; *3* — arzătorul; *4* — bobină de sîrmă-electrod.

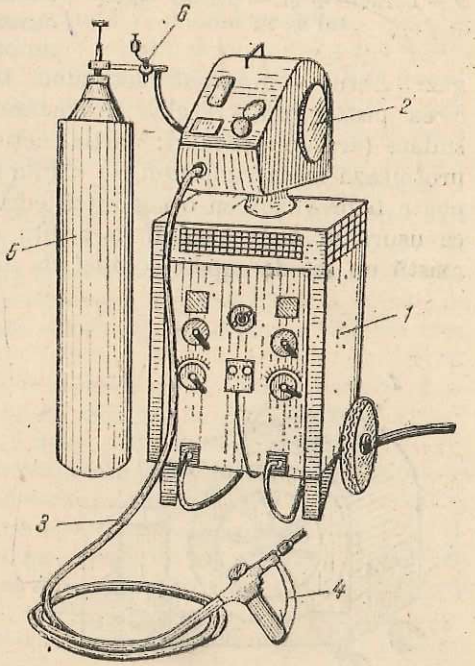


Fig. 26.15. Instalația de sudare A 9/400 (MIG):

1 — transformator; *2* — derulator (capăt de comandă); *3* — furtun; *4* — arzător (pistolet) de sudare; *5* — butelie; *6* — regulator de presiune.

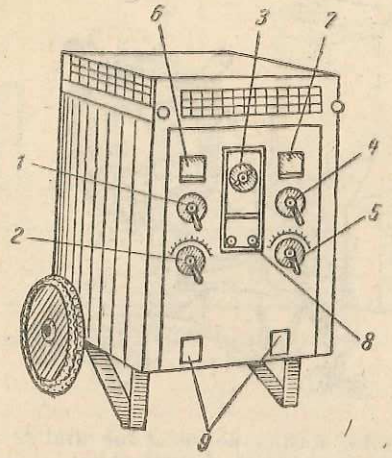


Fig. 26.16. Transformatorul redresor al instalației A 9/400:
1 — întrerupătorul principal; *2*, *3* — reglarea grosieră și fină a curentului de sudare; *4*, *5* — reglajul grosier și fin al inductanței; *6* — voltmetru; *7* — ampermetru; *8* — curentul de comandă de 110 V; *9* — bornele + și — pentru curentul de sudare.

rentul de sudare. Această împletitură este răcită în interior și exterior prin circulația aerului comprimat *3*. În interior, tubul de ghidare al sîrmei-electrod *4*, care asigură trecerea gazului protector *5* și a sîrmei electrod *6*. Capetele tubului policonductor sînt echipate cu racorduri speciale pentru cuplarea de o parte la derulator și de cealaltă parte la pistoletul de sudare.

Pistoletul de sudare sau arzătorul (fig. 26.19). Tubul policonductor conduce la pistolet sîrma-electrod, curentul de sudare, gazul protector și aerul comprimat. Acoperit de un manșon protector de cauciuc, mînerul pistoletului *1* conține turbina pneumatică care constituie elementul de tracțiune al sîrmei-electrod, atît timp cît motorul electric din derulator acționează mecanismul de împingere al sîrmei-electrod. La extremitatea pistoletului se află conducta de gaz *2*, cu poziții reglabile, rolul său fiind de a repartiza fluxul razelor în jurul sîrmei-electrod și a băii de metal topit în timpul sudării. Capătul-contact *3*, care transmite curentul de sudare sîrmei-electrod, este amplasat în interiorul conductei de gaz. Aerul comprimat acționînd turbina de recuperat *4* asigură răcirea pistoletului. Pîrghia *5* comandă începerea și oprirea operației de sudare (are două poziții: parțial acționat și complet acționat). Un ecran *6* protejează mîna sudorului de căldura degajată de arcul-electric. Pistoletul poate fi prevăzut cu o conductă curbată *7* reglabilă în toate direcțiile, ceea ce ușurează mult accesul în poziții dificile de sudare. În trusa de utilaje există un set de capete-contact de diferite diametre, pentru schimb.

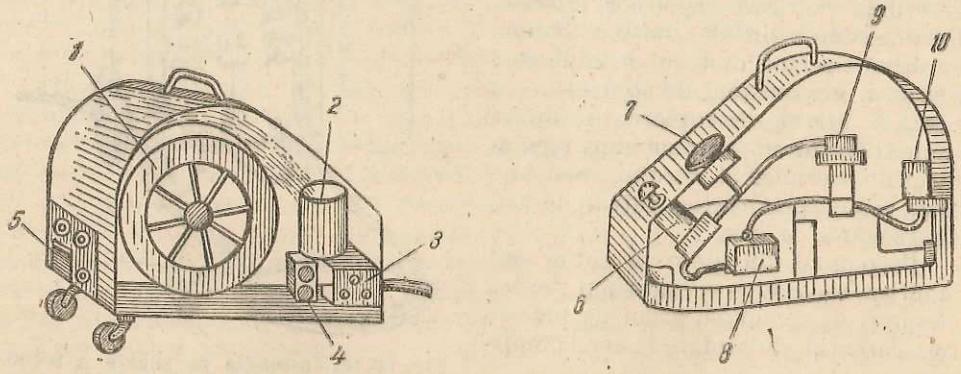


Fig. 26.17. Derulatorul instalației A 9/400:
1 — rola sîrmei-electrod; *2* — motorul electric de împingere; *3* — blocul de cuplare a policonductorului; *4* — mecanismul de alimentare a sîrmei; *5* — panoul racordărilor și conexiunilor; *6* — regulator de presiune; *7* — manometru; *8* — releu pneumatic; *9* — filtrul de aer; *10* — electrovana.

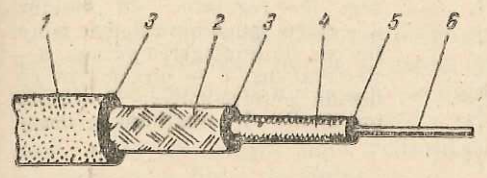


Fig. 26.18. Policonductor pentru sudare:
1 — tubul exterior de cauciuc pînzat; *2* — conductor pentru curentul de sudare format din sîrmă de cupru împletită; *3* — circulația aerului comprimat; *4* — tubul de ghidare a sîrmei-electrod; *5* — circulația gazului de protecție; *6* — sîrma-electrod.

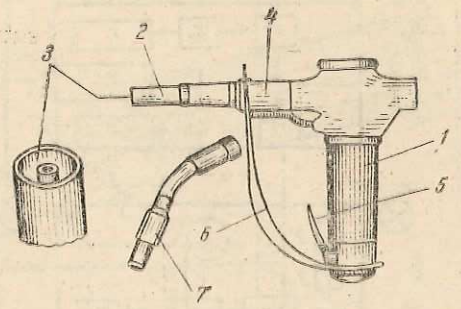


Fig. 26.19. Arzătorul (pistoletul de sudare) al instalației A 9/400:
1 — mînerul; *2* — suflătorul de gaz; *3* — capătul de contact (a curentului la sîrmă); *4* — cămașa de răcire cu aer a arzătorului; *5* — pîrghia de comandă; *6* — ecran de protecția mîinii; *7* — suflător cotit de rezervă.

b. **Funcționarea instalației.** Cu ajutorul întrerupătorului K_1 (fig 26.20) postul este pus sub tensiune. Transformatorul auxiliar *TA* produce un curent alternativ de 110 V (necesar circuitului de comandă), care este legat de releul pneumatic *4*. El alimentează motorul de împingere *5*, electroavansul de gaz protector *6* și comutatorul principal K_2.

La acționarea parțială a pîrghiei de comandă *7*, aerul comprimat circulă, trecînd prin filtrul de aer *2*, regulatorul de presiune *3* și releul pneumatic. Releul pneumatic, prin închiderea circuitului de comandă, pune în funcțiune: motorul de împingere, comutatorul principal și electrovana. Motorul acționează asupra sîrmei-electrod prin intermediul rolelor de antrenare. Dar, în această fază, cuplul motorului electric nu este suficient pentru avansarea sîrmei, deoarece turbina pistoletului nu funcționează pentru că aerul comprimat se scurge printr-o supapă aflată deasupra turbinei. La închiderea comutatorului principal, transformatorul coboară tensiunea de la rețea la tensiunea de sudare, aleasă în prealabil cu ajutorul unui selector de gaz și a unui comutator plasate pe tabloul de comandă. Electrovana se deschide și gazul de protecție trece. Curentul de sudare este condus la capul-contact și, de aici, la sîrma-electrod.

La acționarea completă a pîrghiei de comandă, aerul comprimat (cu presiunea reglată de regulatorul de presiune), este admis în turbină și sîrma-electrod este antrenată prin intermediul rolelor pistoletului. Derularea sîrmei este asigurată de motorul electric de împingere a derulatorului și de motorul pneumatic de tracțiune al pistoletului. Avantajul acestui sistem este reducerea considerabilă a frecării sîrmei de pereții policonductorului (fig. 26.21).

În timp ce capătul sîrmei-electrod intră în contact cu piesa, se formează arcul electric și începe sudarea. Operația se menține atît timp cît operatorul ține apăsată pîrghia de comandă.

La punerea în stare de lucru a instalației, se va avea în vedere să se înregistreze următorii parametri de sudare:

— înregistrarea parametrilor curentului de sudare (eventual a curentului de comandă);

— reglarea vitezei de derulare a sîrmei-electrod, cu ajutorul regulatorului de presiune al aerului din derulator;

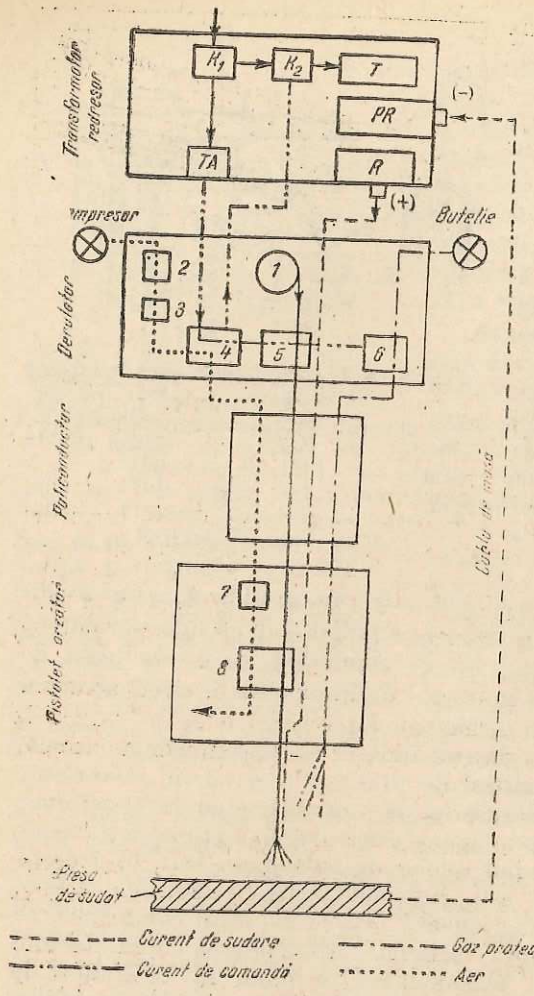


Fig. 26.20. Schema sinoptică de funcționare a instalației:
K_1 — comutator principal; TA — transformator auxiliar; K_2 — contactor; T — transformator; PR — punte redresoare; R — reostat; *1* — rola de sîrmă; *2* — filtru de aer; *3* — regulator de presiune; *4* — releu pneumatic; *5* — motor electric de împingerea sîrmei; *6* — electroavans; *7* — pîrghie de comandă pornire-oprire; *8* — motor pneumatic de tracțiune a sîrmei.

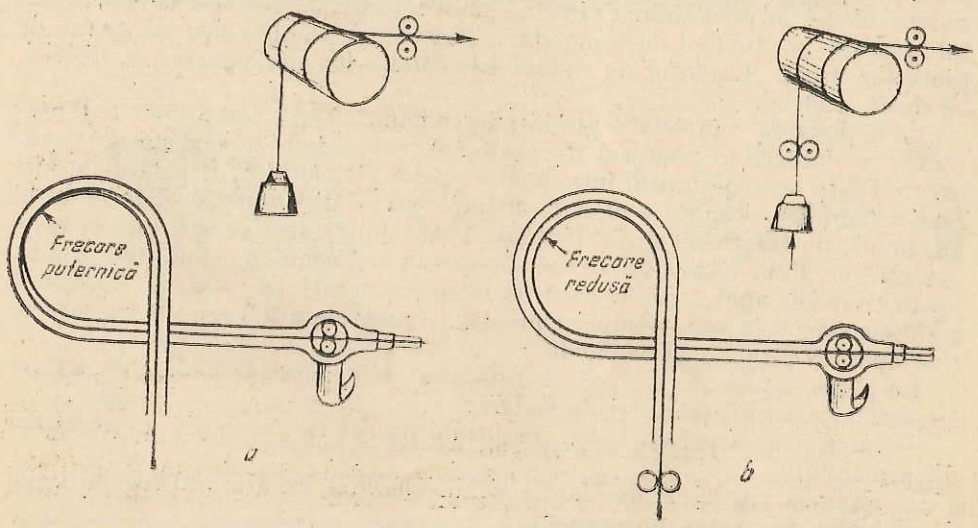


Fig. 26.21. Frecarea sîrmei-electrod în policonductor în funcție de acțiunea celor două motoare:
a — funcționează numai motorul de tracțiune (sîrmă trasă); *b* — funcționează ambele motoare (sîrmă împinsă și trasă).

— deschiderea vanei de la butelia de gaz și reglarea debitului necesar;

— poziționarea conductei de gaz a pistoletului pentru următoarele regimuri de lucru: arc scurt sau arc lung (fig. 26.22).

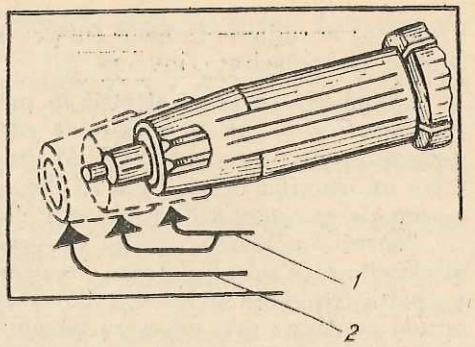


Fig. 26.22. Poziționarea conductei de suflare a gazului:
1 — la arcul scurt; *2* — la arcul lung.

c. **Modul de lucru.** În mod obișnuit se execută sudarea de la dreapta la stînga, pistoletul fiind ușor înclinat spre dreapta (cu 75—80°). Această poziție oferă avantajul unei vizibilități foarte bune a liniei de sudat.

Cînd trebuie realizat un cordon de grosime relativ mare sudarea spre dreapta se poate întrebuința în egală măsură și oferă avantajul unei penetrații mai bune, înclinarea pistoletului rămînînd aceeași.

Sudarea cu sîrmă-electrod fuzibil se execută pentru asamblarea oțelurilor moi și ușor aliate cu grosimi de la 1—30 mm pentru sudarea cap în cap și de la 1—12 mm pentru sudarea de colț și în T; pentru asamblarea oțelurilor inoxidabile și a aluminiului cu grosimi între 2 și 10 mm. Sîrma-electrod folosită are diametrul de 0,6—1,6 mm; mai rar se folosesc diametre pînă la 2 mm.

Gazele de protecție folosite sînt argonul, CO_2 sau un amestec al acestora.

Unul din procedeele de protejare a metalului topit din baia de sudură de contactul cu oxigenul din aer este suflarea unui gaz asupra arcului de sudare. Gazul poartă denumirea de *gaz protector*.

Gazele protectoare folosite la sudare pot fi:

— *inerte*, cum sînt: argonul, heliul sau amestecul acestora;

— *reducătoare*, cum sînt: hidrogenul sau amestecul de hidrogen cu argon;

— *oxidante* (active), cum sînt: bioxidul de carbon sau amestecul acestora cu Ar etc.

1) *Sudarea MIG (Metal-Inert-Gaz).* Procedeul de sudare cu sîrmă-electrod fuzibilă în curent de gaz inert este folosit atît în variantă semiautomată cît și în cea automată. Gazul protector folosit este argonul + 5% CO_2 pentru sudarea oțelurilor moi și slab aliate; argonul +1% oxigen pentru oțeluri inoxidabile; argonul sau argonul +5% H_2 pentru sudarea aluminiului.

2) *Sudarea MAG (Metal-Activ-Gaz).* Gazele inerte fiind scumpe, pentru sudarea oțelurilor de construcție se folosește CO_2 care este un gaz activ. La temperatura înaltă a arcului electric, CO_2 se descompune în CO și oxigen; CO este reducător, deci protector, iar pentru preîntîmpinarea acțiunii oxigenului se folosesc sîrme aliate slab cu mangan și siliciu.

5. Sudarea cu electrod nefuzibil

Pentru sudarea cu electrod nefuzibil, arcul electric este amorsat între doi electrozi nefuzibili sau între un electrod nefuzibil și piesa de sudat, cu sau fără material de adaos. Protecția băii de metal topit și a arcului se obține printr-un gaz inert, argon sau heliu sau un amestec al acestora. Majoritatea metalelor sînt sudate cu curent continuu, electrodul fiind conectat la borna

negativă; la sudarea tablelor subțiri de Al, magneziu și aliajele respective sînt sudate cu polaritate inversă.

a. **Sudarea cu arcul electric în mediu de gaze.** 1) *Sudarea cu arcul electric cu electrod nefuzibil în mediu de gaze inerte.* Procedeul este cunoscut sub denumirea de procedeul WIG (Wolfram-Inert-Gaz), la care arcul se produce între un electrod de wolfram și piesa de sudat, iar protecția se asigură de un curent de gaz inert suflat în jurul electrodului (fig. 26.23, *a* și *b*).

Pentru amorsarea arcului în procedeul de sudare WIG, fără atingerea electrodului se întrebuințează un generator de tensiune înaltă (circa 3 000 V) și înaltă frecvență (circa 0,5 MHz) aplicat la bornele arcului. În sudarea cu curent continuu este necesară tensiunea înaltă numai pentru amorsare, după care în mod automat aceasta este întreruptă. La sudarea cu curent alternativ tensiunea înaltă este necesară tot timpul, pentru a se stabiliza arcul.

Se apreciază că orice metal poate fi sudat prin acest procedeu, obținîndu-se o sudare de calitate extrem de bună.

Căldura arcului este distribuită aproximativ 1/3 la borna negativă și două treimi la cea pozitivă. Din această cauză majoritatea metalelor sînt sudate cu curent continuu, electrod negativ, obținîndu-se o topire bună și un arc stabil. La sudarea aluminiului și magneziului subțire, căldura este repartizată în mod invers, folosindu-se polaritatea inversă. Pentru sudarea acelorași metale dar mai groase de 1 mm se folosește curentul alternativ.

Metoda de sudare WIG se aplică unei game foarte largi de metale: oțeluri (slab aliate cu crom-molibden, oțeluri de înaltă rezistență, oțeluri feritice și martensitice, oțeluri inoxidabile), metale ușoare (aluminiu, magneziu), materiale refractare (wolfram, vanadiu, molibden, zincroniu), cupru și aliajele sale, metale prețioase și altele.

O instalație pentru sudarea WIG este compusă din:
— sursa de curent continuu sau alternativ sau ambele;
— generatorul de înaltă frecvență;
— butelia de gaz protector, cu regulator (debitmetru);
— arzătorul de sudare;

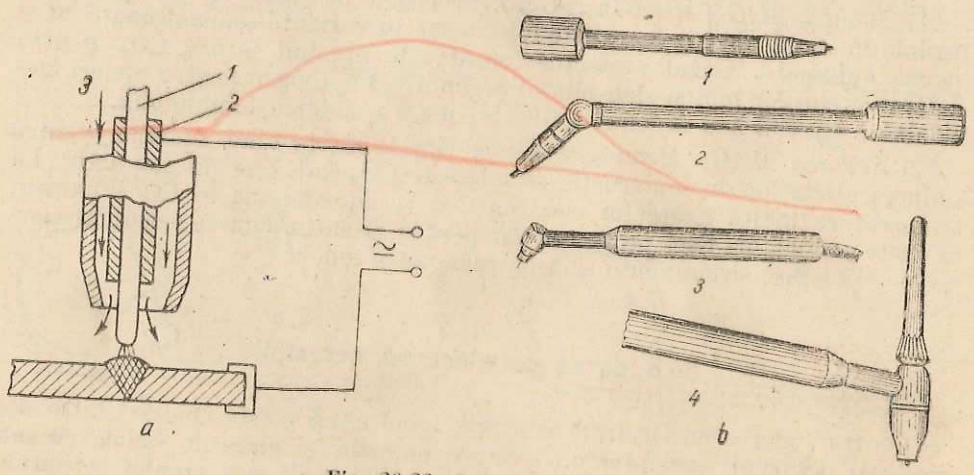


Fig. 26.23. Sudarea WIG:
a — principiul sudării WIG (TIG): *1* — electrod de wolfram; *2* — suportul contactor al electrodului; *3* — gaz inert; *b* — arzătoare WIG: *1* — arzător creion; *2* — arzător cu cap rotativ; *3* — arzător cu cap miniatură; *4* — arzător obișnuit.

— cabluri de interconectare, de conectare la piesa de sudat, furtunuri de gaz protector și eventual de apă (intrare și ieșire).

Arzătoarele WIG pot fi cu răcire naturală de aer avînd capacitatea de curent de sudare pînă la 100 A și cu răcire cu apă cu capacitatea de curent de sudare pînă la 700 A.

Electrozii din wolfram nu trebuie să capete fisuri în extremitatea expusă arcului, ei rămîn intacți în timpul sudării.

Electrozii de wolfram se livrează într-o gamă largă de grosimi, de la 0,8 mm la 10 mm diametru, iar lungimile între 75 și 150 mm.

Sîrmele de adaos pentru sudarea WIG sînt fabricate cu compoziție chimică corespunzătoare materialelor ce se sudează. Pentru oțeluri inoxidabile, sîrma de adaos este un oțel aliat (principalele elemente de aliere și procentul mediu fiind 20% Cr, 10% Ni, 2% Mn, 1% Si; pentru cupru pur, alame și bronzuri, sîrma de adaos este un aliaj al cuprului (90—95%) cu Ni, Mn, Sn, Al etc.; pentru aluminiu pur și aliajele sale, sîrmele de adaos conțin, de obicei, în procente reduse Mn, Cu, Mg etc.

Alimentarea sîrmei în timpul sudării poate fi făcută manual sau automat, atunci cînd unele arzătoare au ca accesorii unitatea de alimentare automată cu sîrmă de adaos.

2) *Sudarea cu hidrogen atomic.* Este procedeul la care arcul electric se formează între doi electrozi de wolfram, amplasați în două ajutaje vecine, prin care se suflă un curent de H (fig. 26.24). La temperatura înaltă a arcului electric, hidrogenul biatomic se disociază în hidrogen monoatomic $H_2 \rightarrow 2H$, absorbind o cantitate de căldură din arc. La contactul cu piesa sau materialul de adaos, cu temperaturi mai coborîte, reacția este inversă, cu degajare de căldură.

Hidrogenul asigură în același timp protecția metalului topit, deoarece el este reducător atît în stare moleculară cît și atomică.

b. **Sudarea cu jet de plasmă.** Este o variantă a metodei de sudare cu electrod nefuzibil la care, pentru obținerea celor mai bune rezultate în prezent, se folosește un arzător cu trei curenți de gaz (fig. 26.25):

— argon, drept *gaz plasmogen*, care generează plasma cu ajutorul *arcului pilot* produs între electrodul de wolfram și ajutajul de cupru (alimentat de un

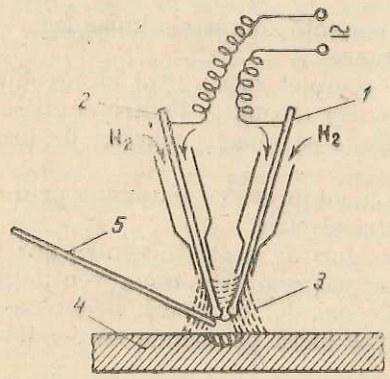


Fig. 26.24. Principiul de sudare cu hidrogen atomic:
1, 2 — electrozi nefuzibili; *3* — mediul de hidrogen; *4* — piesa; *5* — vergea de adaos.

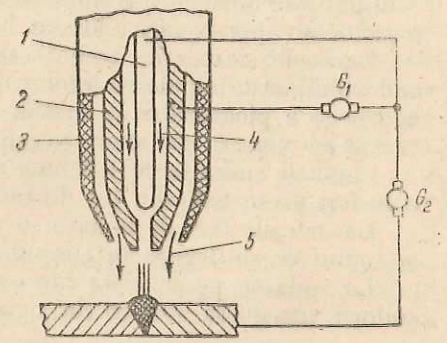
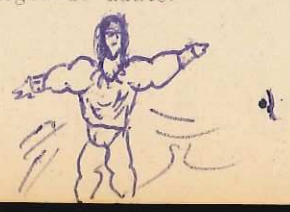


Fig. 26.25. Sudarea cu jet de plasmă:
1 — electrod de wolfram; *2* — ajutaj de cupru; *3* — ajutaj de ceramică; *4* — gaz plasmogen; *5* — gaz protector; G_1 și G_2 — surse de curent.



generator de curent suplimentar) după care plasma trece în ajutajul îngustat al arzătorului, spre piesa de sudat, prin *arcul transferat* produs între electrodul de wolfram și piesa de sudat (alimentat de generatorul principal);

— argon sau un amestec al acestuia cu hidrogen sau heliu, drept *gaz de focalizare*, care este debitat printr-o serie de găuri, sub un unghi ascuțit cu axa coloanei, îngustînd suplimentar jetul de plasmă transferat piesei;

— argon cu hidrogen sau alte amestecuri, drept *gaz protector* la exteriorul gazului de focalizare pentru protecția acestuia.

Prin acest procedeu pot fi realizate suduri în I de la folii subțiri (0,1 mm) la table de 10 mm, fără material de adaos. Procedeul este folosit la sudarea oțelurilor înalt aliate, aliajele titanului etc. Este necesară o pregătire atentă a marginilor rostului în I, care trebuie să fie perfect împreunate deoarece se sudează fără material de adaos. Pentru obținerea sudurilor cu ușoare îngroșări se folosesc sîrme subțiri de adaos depuse peste rostul de sudat.

6. Măsuri de tehnică a securității muncii

Prin nerespectarea regulilor de tehnică a securității muncii se pot produce următoarele accidente:

— electrocutări;

— îmbolnăvirea ochilor și arsuri ale pielii provocate de radiațiile arcului electric;

— arsuri și răniri produse de scîntei, picături de metal, de zgură sau de piesele încălzite;

— intoxicări provenite de la gaze și fumul degajat;

— incendii cauzate de scînteile împrăștiate de arcul electric.

Sursele de curent pentru sudare cît și masa de lucru trebuie să fie legate la priza de pămînt înainte de punerea lor în funcțiune. Legăturile vor fi executate de electricieni.

Sudorul trebuie să lucreze numai pe covoare de cauciuc sau pe grătare de lemn și îmbrăcat cu echipament de protecție: mănuși, șorț din piele, bocanci, care să-l apere atît împotriva stropirilor cît și împotriva radiațiilor arcului.

Se interzice sudarea pieselor vopsite sau în apropierea substanțelor inflamabile deoarece se pot provoca incendii.

Cablurile de sudare trebuie să fie în stare perfectă; nu este admisă legarea pieselor și apoi izolarea lor cu bandă izolatoare.

Ecranele și măștile trebuie să protejeze complet fața, gîtul și urechile sudorului, atît împotriva radiațiilor, cît și contra stropilor. Pentru curățirea zgurei și a picăturilor de metal, sudorul trebuie să poarte ochelari de protecție cu vizoare de sticlă necolorată.

Cabinele sudorilor vor fi bine iluminate și înconjurate cu paravane pentru a se feri persoanele din jur de radiațiile arcului electric.

La locurile fixe de sudare se vor amenaja guri de aspirare pentru gazele și fumul ce se degajă în timpul sudării și se va asigura o bună ventilație.

La sudarea pe șantiere (de construcții sau navale) în locuri periculoase, sudorii vor purta centuri de siguranță sau vor lucra pe scaune suspendate.

Capitolul 27

SUDAREA CU FLACĂRĂ DE GAZE

1. Materiale și utilaje folosite la sudarea cu flacără de gaze

a. **Materiale.** Pentru executarea îmbinărilor prin sudare cu flacără de gaze sînt necesare următoarele: gazul combustibil, oxigenul, materialul de adaos, fluxurile sau fondanții.

1) *Gaze și lichide combustibile folosite la sudare.* Pentru sudarea cu flacără de gaze, ținînd seama de temperatura ridicată de topire a metalelor și aliajelor de sudat, este necesar să se folosească gaze cu putere calorică mare. Gazele și lichidele combustibile folosite la sudarea cu flacără sînt: acetilena, gazul metan, hidrogenul, diferite gaze petroliere, de cocserie, vapori de benzină etc.

Acetilena are puterea calorifică de 54 410 kJ/m³N și constituie gazul cel mai propriu sudării. Prin ardere în oxigen dezvoltă o temperatură foarte înaltă, cuprinsă între 3100 și 3200°C. Prezintă dezavantajul că în amestec cu oxigenul sau aerul este explozivă, din care cauză sînt necesare măsuri speciale de securitate. Acetilena se obține din carbură de calciu (carbid), care în contact cu apa dă reacția:

$$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca\ (OH)_2 + Q$$

Carbura de calciu (CaC_2) se fabrică din oxid de calciu și cărbune pe cale electrochimică; aspectul ei este de granule compacte de culoare galbenă-brună pînă la negru-albastru, iar în spărtură proaspătă are o structură cristalină. Se fabrică în șase granulații, de la dimensiunea de 80—120 mm pentru tipul O, pînă la granule mici de 2—7 mm pentru tipul V. Volumul de acetilenă dezvoltat de un kilogram de carbid este de 280 de litri pentru granulațiile O la I; 270 de litri pentru granulația II și 240 de litri pentru granulațiile III, IV, V. Carbidul se livrează în butoaie de tablă închise ermetic, conținînd 100, 50 și 20 kg. Butoaiele cu carbid trebuie păstrate în magazii special destinate pentru a fi ferite de umezeală și foc. Pentru prepararea acetilenei la locul de muncă, în generatoare, se folosește carbidul cu granulație mare, iar granulațiile mici se folosesc în centrale de acetilenă.

Potrivit relației de obținere a acetilenei rezultă că, în urma descompunerii carbidului se produce o mare cantitate de căldură. Din acest motiv, cantitatea de apă ce se ia pentru descompunerea unui kilogram de carbid este 10 kg (teoretic este necesar 0,56 l apă la un kilogram de carbid), deoarece în caz contrar temperatura produsă este ridicată. Apa absoarbe căldura dezvoltată, ceea ce previne temperaturile mari și pericolele legate de acestea. Temperatura de aprindere a acetilenei este de 350°C. În general acetilena este debitată în generatoare la presiuni foarte mici, sub 0,1 bar, ceea ce asigură securitatea necesară.

Acetilena dizolvată este cea preparată în centralele de acetilenă și se livrează în butelii. Deoarece la presiunea de peste 1,6 bar și temperatura de 60°C, acetilena se descompune în hidrocarburi foarte explozive, acetilena dizolvată se livrează numai în butelii speciale prevăzute cu masă poroasă, deoarece în capilaritățile porilor acetilena se poate transporta fără pericol de explozie. În aceste butelii se introduce și acetonă, care are proprietatea de a dizolva acetilena comprimată. În buteliile prevăzute cu masă poroasă și acetonă, acetilena se poate comprima la 15—16 bar la temperatura 20°C fără să prezinte

pericole. Buteliile conțin circa 25% masă poroasă, 40% acetonă, 29% acetilenă dizolvată, restul de 6% formînd spațiul de siguranță în partea superioară a buteliei (exprimarea în volume).

Acetilena dizolvată prezintă următoarele avantaje față de cea preparată în generatoare:

— este mai pură;
— prezintă mai multă ușurință în lucru;
— prezintă mai multă securitate în exploatare;
— prezintă posibilitatea folosirii în orice loc.

Gazul metan (CH_4) are o putere calorifică de 35 830 kJ/m³N. Cu toate că puterea calorifică este relativ mare, temperatura de ardere în oxigen este de 2000°C. Gazul metan este folosit la sudarea aliajelor ușor fuzibile și la tăiere, datorită costului mult mai redus, în comparație cu alte gaze. Gazul metan este foarte exploziv în amestec cu aerul. Cele mai bune rezultate se obțin cînd este folosit la presiunea de 0,4—0,6 bar.

Hidrogenul este un gaz ușor (0,9 g/l) cu putere calorifică de 10 710 kJ/m³N. Temperatura flăcării în oxigen este de 2 200°C. Se folosește la sudarea metalelor și aliajelor ușor fuzibile, cît și a tablelor subțiri. Se livrează în butelii vopsite în verde-închis cu inscripția roșie, cu capacitatea de 40 l, la presiunea de 150 bar. Cantitatea disponibilă dintr-o butelie se calculează cu relația:

$$Q = V \cdot p[\mathrm{l}],$$

în care:

V este volumul buteliei, în litri;

p — presiunea gazului din butelie.

Propanul și *butanul*, deși ușor de folosit în exploatare, au dezavantajul că flacăra pentru sudare degajă cantități reduse de căldură, circa 9 000 kJ/m³N. Aceste gaze se folosesc la tăiere și lipire. Gazele lichefiate se livrează în butelii cu capacitatea de circa 26 l; masa buteliei este de 12 kg și este vopsită în albastru-închis.

Pentru sudarea metalelor și aliajelor ușor fuzibile, ca și la tăiere, se mai folosesc: gazul de iluminat, gazul de apă, gazul de cocserie etc., a căror temperatură de ardere în oxigen variază între 1900 și 2100°C și care au puteri calorifice cuprinse între 11 000 și 18 000 kJ/m³N.

Vaporii de benzină, de petrol lampant sau benzen pot fi folosiți cu bune rezultate la sudarea metalelor ușor fuzibile și la tăiere. Temperatura flăcării amestecului de vapori de benzină și oxigen este de 2550°C, a vaporilor de petrol lampant în amestec cu oxigen este 2475°C, iar a celor de benzen este de 2500°C. Pentru obținerea vaporilor sînt necesare arzătoare prevăzute cu flacără de preîncălzire, care să vaporizeze lichidul necesar.

2) *Oxigenul.* Oxigenul este un gaz incolor, insipid și inodor, foarte puțin solubil în apă, cu densitatea față de aer de 1,105. Molecula sa, în condiții obișnuite, este biatomică O_2. Oxigenul este cel mai răspîndit element din atmosferă, hidrosferă și litosferă (scoarța terestră). Se găsește în stare liberă în aer (20,9% în volume) și în formă combinată: în apă, în silicați și carbonați și în cea mai mare parte a substanțelor organice vegetale și animale.

Oxigenul se obține industrial prin distilarea aerului lichid.

Oxigenul formează combinații cu toate elementele, exceptînd gazele inerte, halogenii și metalele nobile. Combinațiile sînt deosebit de favorizate de temperaturile ridicate.

Oxigenul este un gaz care întreține arderea.

3) *Materiale de adaos.* Pentru formarea cordonului de sudură (cusătură) este necesară folosirea de metale de adaos. Acestea trebuie să fie corespunzătoare calitativ cu materialul de bază, adică cu o compoziție chimică care să confere cusăturii sudate aceleași caracteristici mecanice.

Materialul de adaos se execută sub formă de sîrmă, care se livrează în colaci sau în legături de vergele. Sîrma de sudură poate avea diametre de la 0,5 la 12,5 mm.

Sîrma de sudare pentru oțel (STAS 1126-76) poate fi din *oțel nealiat*, a cărei simbolizare este S_{NN}, cu indicația S = sîrmă de sudură, NN = procentul de carbon din aliaj; exemplu S_{10}, reprezentînd sîrma de sudură (din oțel) cu un conținut de 0,10% carbon. Cînd oțelul este de o puritate mai înaltă (sulf și fosfor maximum 0,03%) se adaugă litera X; exemplu $S_{10}X$. *Sîrmele din oțel aliat* au simbolurile corespunzătoare elementelor de aliere. Exemplu: $S_{12}M_2$, indică sîrma de sudură cu un conținut de 0,12% carbon și 2% mangan; $S_{12}M_2S$ indică o sîrmă de sudură cu 0,12% carbon și 2% mangan și un conținut pînă la 1% siliciu (cînd simbolul unui element de aliere nu este urmat de un număr, conținutul său nu depășește cu 1%); $S_{12}M_0C$ indică o sîrmă de sudură cu 0,12% carbon, molibden și crom sub 1%. Pentru sudarea oțelurilor inoxidabile, antiacide, refractare etc. sîrma de sudare se livrează odată cu materialul de bază.

Pentru sudarea fontei, materialul de adaos folosit, constituit din vergele turnate, cu diametre de 4—14 mm și lungimi de 450 și 700 mm se prezintă în două calități:

$VT - S_{30}$, cu un conținut de siliciu de 3—3,5%;
$VT - S_{36}$, cu un conținut de siliciu de 3,6—4,8%.

Pentru sudarea aluminiului și a aliajelor de aluminiu, ca metal de adaos se folosesc fîșii decupate din materialul de bază, deoarece sortimentul materialelor de adaos pentru aluminiu și aliaje de aluminiu se fabrică pe scară redusă. În mod curent se fabrică următoarele:

— vergele de aluminiu pentru sudarea conductoarelor electrice, contactelor etc.;
— vergele de aluminiu-cupru pentru sudarea duraluminului;
— vergele turnate din aliaje de aluminiu, siliciu pentru sudarea pieselor turnate din aluminiu sau din silumin;
— vergele de aluminiu-zinc-magneziu și aluminiu-siliciu-magneziu pentru sudarea construcțiilor din aceste aliaje (instalații pentru industria alimentară, construcții navale, utilaje chimice etc.).

Pentru sudarea cuprului se folosește sîrma de cupru electrolitic CuE sau vergele de cupru-argint, cu 1% argint, de lungime 1 m, cu diametrul de la 4, 5, 6 la 8 mm.

Pentru sudarea alamei se folosesc sîrme de 1—3 mm și vergele de 2—8 mm din alamă marca Am Si Lp (avînd 60% Cu și 0,2—0,3% Si, restul Zn) și alamă marca Am Sn Lp (60% Cu, 0,2—0,3% Si, 0,8—1,2% Sn, restul Zn). Aceste sîrme sînt folosite atît la sudarea alamei, cît și la lipirea cuprului, bronzului, oțelului, fontei etc.

Materialele pentru adaos (sîrme și vergele) nu se vor proteja prin ungere cu ulei sau substanțe organice, deoarece acestea impurifică baia de sudură. Acestea se vor depozita în locuri uscate și curate pentru a nu se degrada.

La folosirea sîrmele se vor șterge cu bumbac curat; îndepărtarea și tăierea sîrmelor se vor executa în condiții de curățenie, iar după tăiere și îndreptare, fiecare bară se va șterge cu bumbac curat.

4) *Fluxuri sau fondanți de sudare.* Fluxurile sau fondanții sînt materiale speciale, sub formă de praf, pastă sau lichide, care au drept scop să îndepărteze oxizii și să protejeze metalul topit împotriva oxidării.

La sudarea oțelurilor obișnuite nu este necesară folosirea fluxurilor, în schimb la sudarea oțelurilor aliate, a metalelor și aliajelor neferoase, a fontei etc., folosirea fluxurilor este absolut necesară. Îndepărtarea fluxurilor după sudare se face prin periere, după care piesa trebuie spălată.

Proprietățile principale cerute fluxurilor sînt:

— să fie ușor fuzibile, adică să se topească cu ușurință la o temperatură mai coborîtă decît temperatura de regim a procesului de sudare;

— să fie suficient de vîscoase în stare topită pentru a nu se scurge de pe locul de sudare;

— să poată dizolva bine pelicula de oxizi, formînd un aliaj cu această peliculă;

— să aibă o greutate specifică mai mică decît metalul de bază;

— să nu se formeze produse gazoase solubile în metal și producătoare de vapori;

— resturile fluxului precum și produsele reacțiilor trebuie să poată fi îndepărtate ușor după sudare.

Cele mai folosite substanțe care compun fluxurile sînt:

— pentru sudarea pieselor din fontă:

— borax 100%;

— borax 50%, bicarbonat de sodiu 47% și acid sulfuric 3%;

— pentru sudarea cuprului și alamei:

— borax 70%, clorură de sodiu 20% și acid boric 10%;

— pentru sudarea aluminiului și aliajelor sale:

— clorură de potasiu 44%; sulfat de sodiu 4,5%; carbonat de sodiu 3,5% și borax 48%;

— clorură de potasiu 60%, clorură de litiu 24%, clorură de sodiu 12% și sulfat de potasiu 4%.

b. Utilaje. Pentru sudarea cu flacără de gaz este necesar să se organizeze un post de sudare (fig. 27.1) care trebuie să aibă în dotare:

— generatorul de acetilenă sau butelia de acetilenă cu supapă de siguranță;

— butelia de oxigen cu reductor;

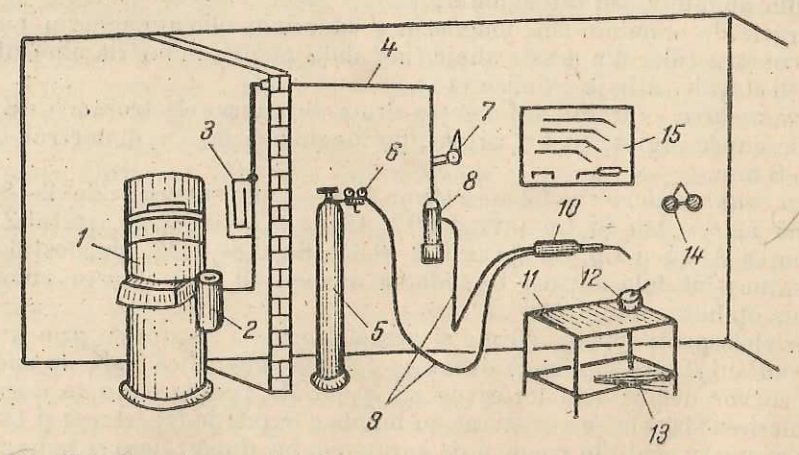


Fig. 27.1. Organizarea și dotarea unui post de sudare oxiacetilenic:
1 — generator; *2* — epurator; *3* — manometru; *4* — conductă de gaz; *5* — [illegible] oxigen; *6* — reductor de oxigen; *7* — flacără de control; *8* — supapă hidraulică de siguranță; *9* — tuburi de cauciuc; *10* — arzător; *11* — masă; *12* — suport; *13* — electrozi; *14* — ochelari de protecție; *15* — tije + arzătoare de schimb.

— trusa de sudare;

— tuburile de cauciuc;

— echipamentul de protecție;

— masa de lucru și dispozitivele de sudare;

— materiale de adaos, fluxuri de sudare;

— sculele etc.

1) *Generatoare de acetilenă.* La locul de muncă, acetilena se prepară în generatoare speciale a căror clasificare principală se face după modul cum se asigură contactul între carbid și apă.

În atelierele mari, prevăzute cu mai multe posturi de sudare, se recurge la regenatoare staționare sau centrale de acetilenă. Acestea au debitul, în raport cu necesarul, de la 5 la 8 m³/h acetilenă.

Pentru posturile de sudare obișnuite se folosesc generatoare de acetilenă transportabile.

Clasificarea generatoarelor transportabile. În raport cu debitele orare se deosebesc patru mărimi de execuție: 0,8; 1,25; 2 și 3,2 m³/h.

În raport cu presiunea la care este debitată acetilena din generatoare, se deosebesc:

— generatoare de joasă presiune, la care presiunea de lucru maximă admisă (nominală), nu depășește 0,1 bar;

— generatoare de presiune medie cu presiune nominală între 0,1 și 1,5 bar.

După modul în care se realizează contactul între carbid și apă se deosebesc:

— generatoare cu căderea carbidului în apă;

— generatoare cu curgerea apei peste carbid;

— generatoare de contact intermitent prin refularea apei.

În figura 27.2 sînt reprezentate schemele celor trei tipuri de generatoare.

În cazul căderii carbidului în apă (fig. 27.2, *a*), carbidul *1*, depozitat într-un buncăr, este admis să cadă în apa din rezervorul 3 în cantități necesare, prin manipularea pîrghiei *2*.

Generatorul cu curgerea apei peste carbid (fig. 27.2, *b*) are montat în cîrpul său un clopot flotant *6*, care determină, prin greutatea lui, presiunea

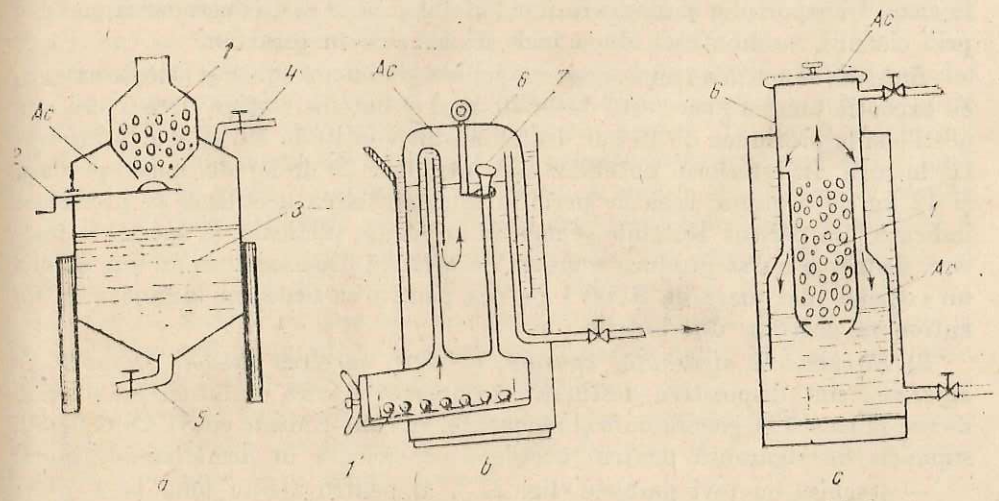


Fig. 27.2. Tipuri de generatoare privind realizarea contactului dintre carbid și apă:
a — cu căderea carbidului în apă; *b* — cu curgerea apei peste carbid; *c* — cu contact. *1* — carbid; *2* — pîrghie de eliberarea carbidului în apă; *3* — apă; *4* — evacuarea acetilenei; *5* — evacuarea apei și a nămolului; *6* — clopot; *7* — gură de conducere a apei.

gazului. În corp este montată o retortă, în care se introduce carbidul în coșuri. Apa intră în retortă prin pîlnia *7* cînd, la micșorarea cantității de gaz sub clopot, acesta coboară și pîlnia este cufundată în apă. Gazul intră sub clopot, trecînd prin apă, ceea ce contribuie la răcirea sa. La unele generatoare de acest tip, reglarea cantității de apă ce curge peste carbid se realizează cu ajutorul unui robinet.

Generatorul de contact (fig. 27.2, *c*) realizează un contact direct între carbid și apă. Plutitorul *6*, în interiorul căruia se găsește carbidul *1*, plutește în apa introdusă în corpul rezervor. Acetilena degajată face ca apa din plutitor să fie refulată în partea superioară a rezervorului, astfel că încetează contactul dintre apă și carbid.

În conformitate cu STAS 6306-69 nu este permis ca temperatura apei de răcire din generatoare să depășească 70°C.

Masa încărcăturii de carbid pentru diferite mărimi de generatoare se limitează astfel:

— 2,5 kg carbid pentru generatoare cu debit nominal de 0,8 m³/h;
— 4 kg carbid pentru generatoare cu debit nominal de 1,25 m³/h;
— 8 kg carbid pentru generatoare cu debit nominal de 2 m³/h;
— 10 kg carbid pentru generatoare cu debit nominal de 3,21 m³/h.

2) *Butelii de oxigen și acetilenă. Buteliile de oxigen* sînt executate din oțel, avînd grosimea peretelui de 8 mm și diametrul interior de 220 mm. La partea inferioară este montat un suport, iar la partea superioară au un gît la care este montat robinetul de închidere. Lungimea totală a buteliei este de 1 740 mm. Buteliile se vopsesc în albastru și poartă în alb inscripția OXIGEN. Masa unei butelii este de 72,5 kg, în care se pot încărca 8,5 kg de oxigen, care constituie masa celor 6 m³ oxigen comprimată la presiunea de 150 bar.

Robinetele de închidere montate la partea superioară sînt prevăzute cu capac cu filet, în locul cărora se montează reductorul de presiune. Pentru ca în cazul transportului și manevrărilor buteliilor să se evite degradarea părților prin ciocniri, se montează două inele de cauciuc în jurul lor.

Buteliile de acetilenă au aceeași capacitate și dimensiuni ca și cele de oxigen, cu excepția lungimii care este de 1 640 mm. O butelie conține circa 5 500 l de acetilenă la presiunea de 16 bar. Buteliile sînt vopsite în alb și poartă inscripția în roșu. În interiorul buteliilor sînt introduse 20 de kg de masă poroasă și 12 kg de acetonă, ceea ce permite înmagazinarea acetilenei la presiunea indicată fără pericol. Buteliile se mențin în poziție verticală, în special la folosire, pentru a nu se produce scurgeri de acetonă. De asemenea nu este permis un consum mai mare de 2 000 l pe oră pentru ca acetilena degajată să nu antreneze acetona din butelie.

3) *Elemente de siguranță, epurare, reducție, curgerea gazelor. Supapele de siguranță* sînt dispozitive destinate să oprească flacăra de întoarcere și unda de șoc să treacă la generatoare și recipiente. În conformitate cu STAS 6307-69, supapele de siguranță pentru acetilenă se execută în următoarele tipuri:

— deschisă cu țevi paralele (fig. 27.3, *a*) pentru debite pînă la 2 m³/h;
— deschisă cu țevi concentrate în două variante, pentru debite pînă la 1,25 m³/h varianta B_1 și pînă la 3,2 m³/h varianta B_2;
— închisă (fig. 27.3, *b*) pentru debite pînă la 3,2 m³/h.

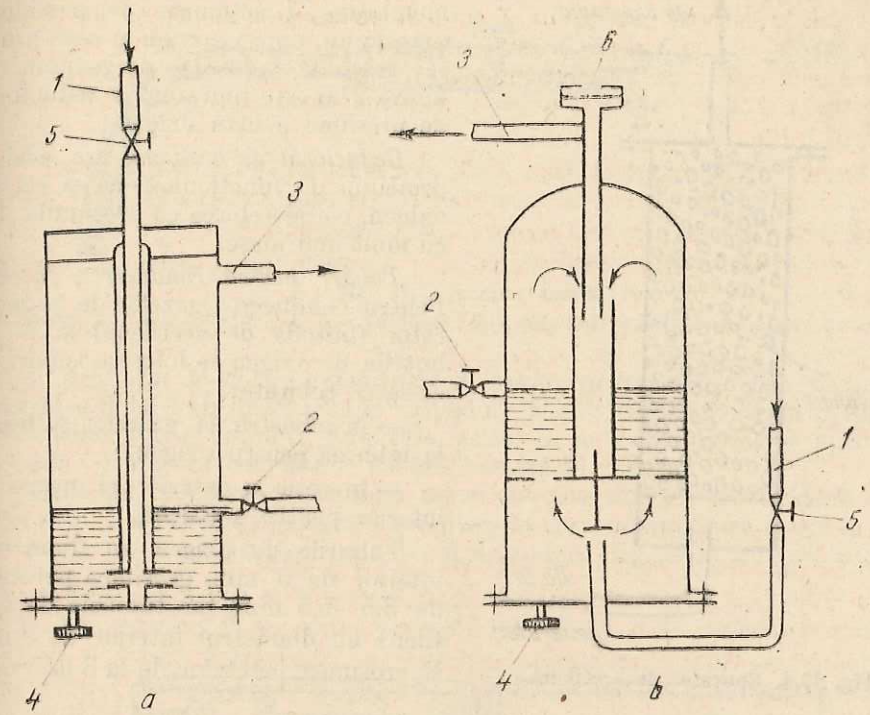


Fig. 27.3. Supapa hidraulică de siguranță:
a — supapă de tip deschis; *b* — supapă de tip închis; *1* — țeavă de admisie; *2* — robinet de nivel; *3* — racord de evacuare; *4* — gură de golire; *5* — robinet de închidere; *6* — membrană.

Supapele deschise se folosesc pentru presiuni pînă la 0,1 bar (1 000 mm H_2O), iar cele închise pentru presiuni medii pînă la 1,5 bar.

Elementele principale ale oricărei supape sînt: robinetul *2* pentru controlul nivelului apei, o gaură de golire *4*, un robinet de închidere *6* pe conducta de admisie a gazului și un dispozitiv de reținere a apei. În cazul întoarcerii flăcării, presiunea acetilenei evacuează apa prin țeava de siguranță și totodată și amestecul de gaze, rămînînd încă o pernă de apă la baza țevii de admisie a gazului *3*, care să asigure nepătrunderea amestecului pe țeava de admisie *1*.

Epuratoarele sînt destinate curățirii acetilenei de impurități mecanice și reținerii a umidității. Epuratoarele sînt de forma unor cutii cilindrice (fig. 27.4) care se încarcă cu cocs sau bucăți mici de cărămidă. Gazul intră pe la partea inferioară a epuratorului și iese pe la partea superioară, de unde prin conducte este dirijat spre supapa de siguranță.

Reductoare de presiune. Reductorul de oxigen servește pentru micșorarea presiunii oxigenului din butelii la presiunea de lucru (1—15 bar) și la menținerea constantă a presiunii reglate.

Reductoarele pot fi cu acțiune directă sau inversă. Cele mai folosite sînt reductoarele cu acțiune inversă. În figura 27.5 este reprezentată schema constructivă a reductorului cu acțiune inversă. Reductoarele funcționează pe principiul a două forțe opuse: forța de presare a unui arc *4* care închide admisia

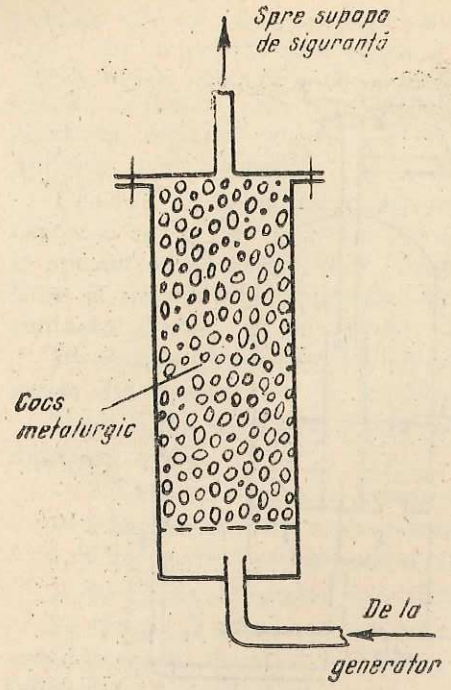


Fig. 27.4. Epurator de acetilenă.

oxigenului și forța de presare a unei membrane *3* acționate de presiunea oxigenului, opusă arcului și care tinde să deschidă admisia oxigenului. În figura 27.6 este reprezentat reductorul de presiune pentru oxigen.

Reductorul de acetilenă are același principiu de funcționare ca și cel de oxigen, cu deosebirea că presiunile sînt cu mult mai joase.

Tuburi pentru conducerea gazelor. Pentru conducerea gazelor de la generator (butelia de acetilenă) și de la butelia de oxigen se folosesc tuburi de clasa *G* colorate:

— în albastru la exterior și negru la interior pentru oxigen;

— în roșu la exterior și negru la interior pentru acetilenă.

Tuburile de oxigen au diametrul interior de 6 mm, grosimea peretelui de 3,5—5,5 mm, iar tuburile de acetilenă au diametrul interior de 9 mm și grosimea peretelui de la 3 la 5 mm.

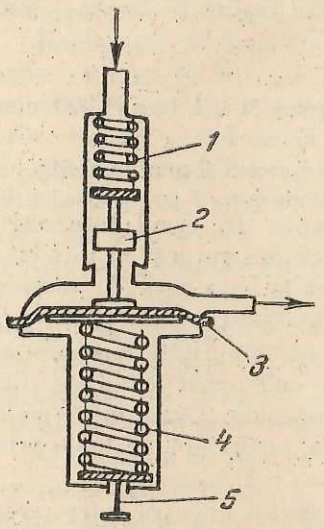


Fig. 27.5. Schema constructivă a reductorului cu acțiune inversă:
1 — arc de închidere; *2* — supapă; *3* — membrană; *4* — arc de presiune; *5* — șurub de reglare a presiunii.

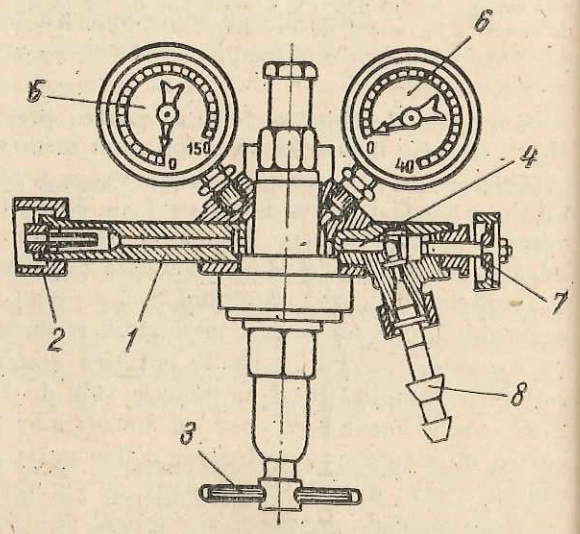


Fig. 27.6. Reductor de presiune pentru oxigen:
1 — racord de intrare; *2* — piuliță de strîngere la ventilul buteliei; *3* — șurub de reglare a presiunii; *4* — canal de joasă presiune; *5* — manometrul de înaltă presiune; *6* — manometrul de joasă presiune; *7* — rotița robinetului de închidere a oxigenului; *8* — racord la tubul de oxigen.

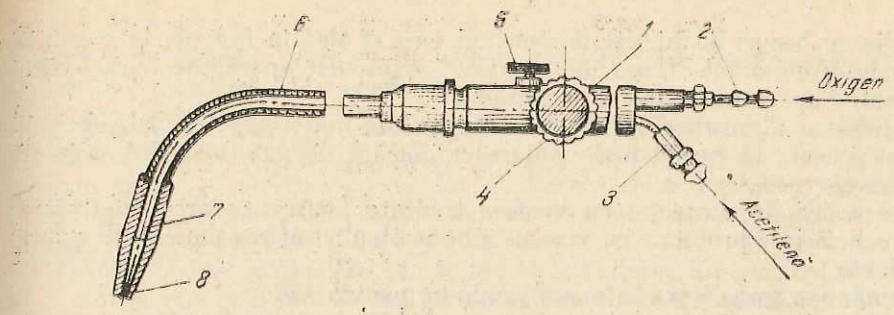


Fig. 27.7. Arzător (suflai):
1 — corp; *2*, *3* — racorduri; *4*, *5* — robinete; *6* — țeavă de amestec; *7* — bec; *8* — ajutaj.

4) *Arzătorul de sudare oxiacetilenică.* Arzătorul (fig. 27.7) este destinat să amestece două gaze (acetilena și oxigenul) ce sînt transportate prin tuburile de cauciuc, într-o anumită proporție, astfel ca la ieșirea lor să se aprindă și să ardă cu flacără constantă, flacără folosită la sudare.

Arzătorul este format dintr-un mîner pe care sînt prevăzute două racorduri pentru acetilenă și oxigen și un locaș la care se montează o tijă de arzător cu bec. Fiecare arzător are o trusă de sudare (fig. 27.8), în care se găsesc

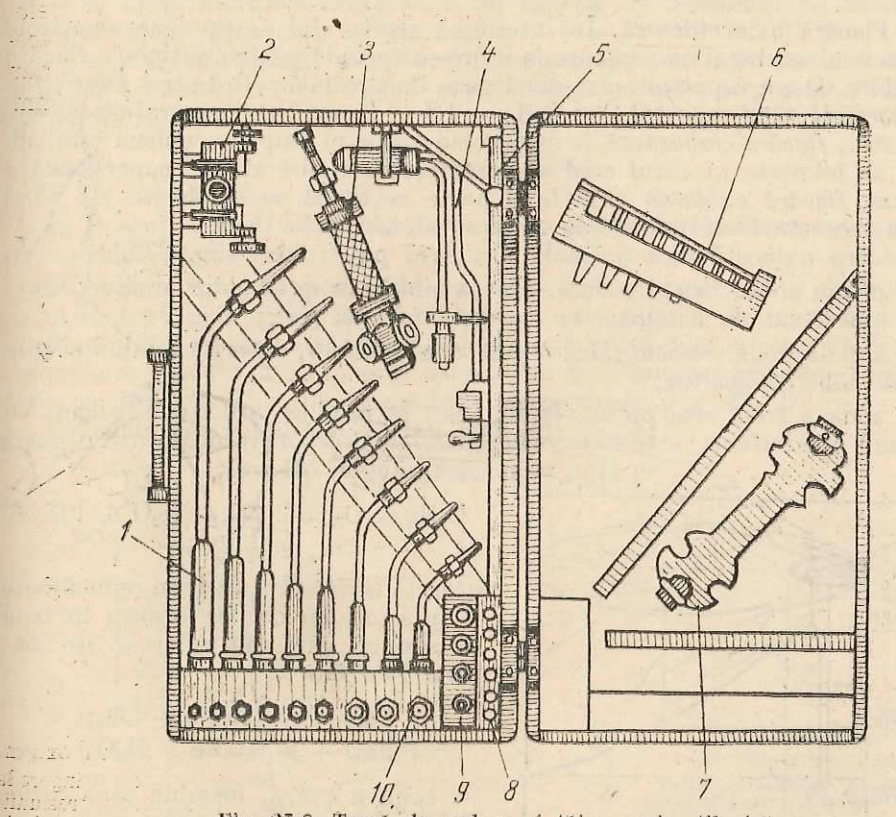


Fig. 27.8. Trusă de sudare și tăiere oxiacetilenică:
1 — tije de arzătoare cu injectoare și becurile respective; *2* — cărucior pentru aparat de tăiere; *3* — mîner; *4* — aparat de tăiere complet cu bec; *5* — compas pentru tăierea circulară; *6* — becuri de rezervă; *7* — cheie; *8*, *9* — becuri pentru tăiere; *10* — becuri pentru sudare.

6—8 tije cu becuri de diferite dimensiuni, care se aleg în funcție de grosimea materialului de sudat. Trusa mai conține: arzătoare, aparat de tăiere, cărucior pentru aparatul de tăiere și compas.

5) *Scule și dispozitive ajutătoare.* În afară de materialele și utilajele enumerate, folosite în procesul de sudare cu flacără de gaz, mai sînt necesare următoarele accesorii:

— ochelari de protecție cu vizoare colorate pentru sudarea cu flacără;
— ochelari de protecție cu vizoare albe pentru curățirea pieselor de zgură-rugină etc.;
— mănuși, șorțuri și ghete sau jambiere pentru sudori;
— dispozitive diverse pentru fixarea pieselor în timpul sudării;
— masa de lucru;
— ciocane de oțel pentru curățirea pieselor de zgură;
— perii de sîrmă de oțel;
— ace și perii de sîrmă de alamă pentru curățirea becurilor;
— dălți, ciocane, pile etc., pentru tăiere, îndreptare, pilire etc.

2. Tehnologia sudării cu flacără de gaze

a. **Flacără oxiacetilenică.** În interiorul arzătorului se produce amestecul de gaz combustibil și oxigen care la ieșire se aprinde pentru obținerea flăcării de sudare. După raportul celor două gaze flacăra poate fi de trei feluri: *flacără normală*, cînd raportul $O_2 : C_2H_2 = 1{,}1...1{,}2$ este cazul general de folosire al flăcării; *flacăra carburantă*, în cazul cînd raportul oxigen-acetilenă este sub 1,1 și se folosește în cazul cînd se urmărește o topire strict superficială a pieselor; *flacără oxidantă* cînd la o parte acetilenă se depășește 1,2 părți oxigen, aceasta fiind folosită la sudarea alamei și la tăiere.

Flacăra oxiacetilenică normală formează patru zone (fig. 27.9):

— prima zonă, foarte redusă, abia vizibilă, la ieșirea din arzător reprezintă amestecul de acetilenă cu oxigen încă neaprins;

— zona a doua, *nucleul flăcării* sau *conul luminos*, datorită luminii ei pronunțat alb strălucitor;

— zona a treia este puțin vizibilă, aici se produce arderea acetilenei cu oxigenul din butelie, este *zona reducătoare a flăcării* care degajează o mare cantitate de căldură;

$$C_2H_2 + O_2 = 2\,CO + H_2O + 107{,}58 \text{ kcal/mol};$$

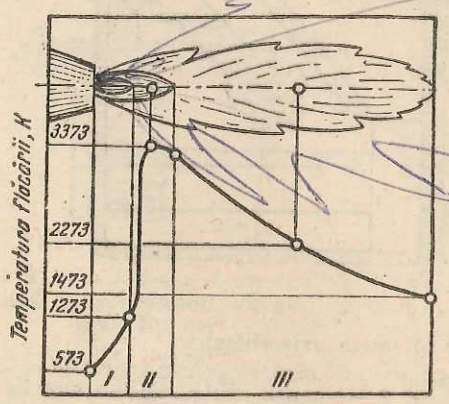


Fig. 27.9. Flacăra oxiacetilenică.

această zonă are o acțiune reducătoare asupra oxizilor de fier formați în baia de sudură, care sînt reduși la fier conform reacțiilor:

$$FeO + CO = Fe + CO_2;$$
$$FeO + H_2 = Fe + H_2O;$$

— zona a patra, formînd *zona secundară* sau învelișul exterior, este zona unde are loc arderea completă a compușilor (CO și H_2) formați în zona reducătoare.

În cazul flăcărilor formate de oxigen cu alte gaze combustibile, zonele flăcării nu mai sînt clar conturate.

b. **Metode și regimuri de sudare.** Metodele de sudare sînt determinate de trei factori: înclinarea flăcării, înclinarea și poziția sîrmei de adaos și orientarea în spațiu a sudurii de executat. Aplicarea celor mai adecvate metode au ca rezultat obținerea unei calități superioare a cusăturii, consumurile reduse de gaze și viteze mari de sudare (fig. 27.10).

1) *Sudarea spre stînga.* Metoda se aplică la sudarea tablelor cu grosimi de 4—5 mm la oțel și 3 mm la metale cu conductibilitate termică mai mare. Se aplică, de asemenea, atît la sudarea orizontală cît și la sudarea în diferite alte poziții.

Arzătorul în mîna dreaptă a sudorului, sîrma în mîna stîngă sudarea începe din capătul din dreapta al rostului de sudat, cusătura executîndu-se de la dreapta spre stînga (fig. 27.11). Este metoda cea mai simplă pentru sudori.

Ordinea operațiilor pentru lucru este următoarea:

— se determină consumul de acetilenă necesar în litri/h, după relația următoare:

$Q = (80...120)s$[l/h] (pentru oțeluri),

în care s este grosimea tablelor, în mm;

— se alege mărimea arzătorului, în funcție de consumul de acetilenă;

— se alege presiunea oxigenului;

— se alege materialul de adaos, corespunzător calității materialului de bază, iar diametrul sîrmei de adaos se determină în raport cu grosimea tablelor cu relația:

$$d = \frac{s}{2} + 1 \text{ (mm)}.$$

În timpul sudării, atît arzătorului cît și sîrmei le sînt imprimate mișcări de oscilații transversale.

2) *Sudarea spre dreapta.* Este o metodă mai pretențioasă și se aplică în cazul tablelor mai groase de 4 mm, pentru oțel și peste 3 mm la metale cu conductibilitate termică ridicată. Sudarea se execută de la stînga spre dreapta. Sudarea se execută în urma arzătorului, care are o mișcare rectilinie fără oscilații, iar sîrma o mișcare cu oscilații transversale (fig. 27.12).

Consumul de acetilenă se calculează cu relația:

$$Q = (120...150)\ s \text{ [l/h]}.$$

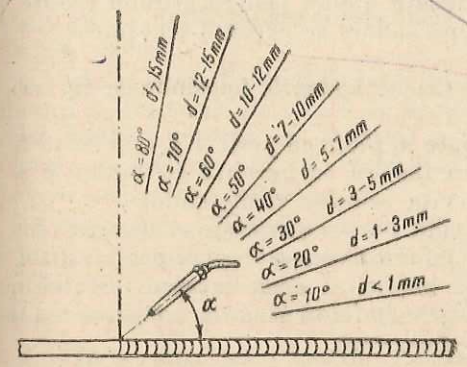


Fig. 27.10. Unghiuri de înclinare a arzătorului în raport cu grosimea materialului.

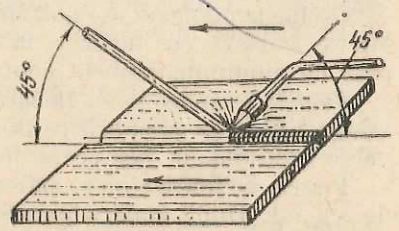


Fig. 27.11. Sudarea spre stînga.

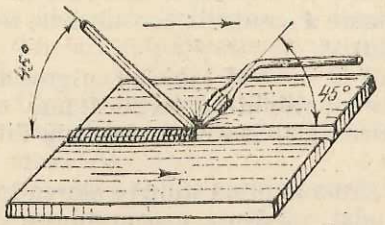


Fig. 27.12. Sudarea spre dreapta.

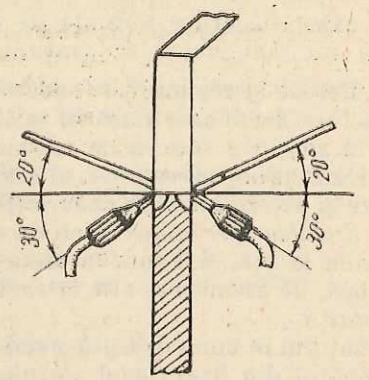


Fig. 27.13. Sudarea verticală cu cusătură dublă.

Grosimea de metal peste 15 mm se sudează cap în cap în două trèceri (straturi). Primul strat se execută cu o înclinare mai redusă a arzătorului (30—45°), iar al doilea cu înclinare mai mare (60—80°).

3) *Sudarea verticală cu cusătură dublă.* Se aplică numai tablelor în poziție verticală și la care cusătura se obține vertical de jos în sus. Sudarea se execută simultan de doi sudori așezați de o parte și de alta a rostului (fig. 27.13). Tablele cu grosime pînă la 12 mm se sudează cu marginile neprelucrate, iar de la 12 mm în sus, prelucrarea se execută în X la 60°. Metoda este productivă și economică deoarece căldura celor două arzătoare este mult mai bine utilizată.

Grosimile de metal cuprinse între 2 și 6 mm se pot suda și de un singur sudor, sudarea fiind mai puțin productivă.

c. **Sudarea oțelului și a fontei.** *Oțelurile cu conținut de carbon sub 0,22%* nu pun probleme la sudarea cu flacără de gaze. Aceste oțeluri au următoarele caracteristici mecanice: $\sigma_c = 25$ daN/mm², $\sigma_r = 42$ daN/mm², $\sigma_s = 25\%$.

Pentru oțelurile cu conținut de carbon peste 0,22% se recomandă ca piesele să fie preîncălzite la temperaturi de 150—350° și menținute în timpul sudării; se va ciocăni cusătura la roșu cu lovituri dese și ușoare de ciocan, se va efectua o răcire înceată și după sudare se va executa un tratament termic de normalizare la 700—800°C.

Oțelurile aliate se sudează cu sîrmă de adaos și aceeași calitate, cu recomandarea ca sudarea cu flacără să se execute numai pentru grosimi reduse. La sudare ele trebuie preîncălzite, iar după sudare se execută tratament termic de recoacere.

Oțelurile inoxidabile (cu peste 12% Cr) se sudează folosindu-se fluxuri pe bază de fluoruri.

Oțelurile manganoase austenitice turnate în piese cu peste 1% C și cu 12% Mn se sudează cu încălzire la 1000°C cu flacără carburantă folosindu-se și praf de aluminiu, ambele pentru a se evita arderea manganului.

Fontele se sudează cu flacără la rece cînd nu se urmărește realizarea unei etanșeități și cu preîncălzire la 600—700°C, folosindu-se fluxuri pentru dizolvarea oxidului de fier ce se formează și împiedică decarburarea metalului.

Piesele de fontă albă se sudează cu vergele de fontă albă (cu conținut redus de siliciu). După sudare piesele se maleabilizează.

La sudarea fontei se folosesc arzătoare puternice, flacăra se reglează cu un mic exces de acetilenă.

d. **Sudarea metalelor neferoase.** *Aluminiul* și *aliajele sale* se sudează frecvent cu flacără de gaze. Pentru sudarea tablelor mai subțiri de 1 mm, se recomandă folosirea flăcării de hidrogen sau de gaze naturale. La grosimi de material peste 1 mm se folosește flacăra oxiacetilenică, cu exces foarte mic de acetilenă. Presiunea oxigenului se reglează cu 0,3—0,4 bar mai mică decît la sudarea oțelului.

Înainte de sudare piesele se degresează și se decapează, apoi se acoperă cu fluxuri. Deoarece fluxurile provoacă coroziuni, după sudare se îndepărtează. Tablele cu grosimi pînă la 5 mm se sudează prin metoda spre stînga, iar peste 5 mm prin metoda spre dreapta sau prin metoda cusăturii duble.

Piesele turnate se sudează cu preîncălzire la 300°C, iar după sudare se supun recoacerii la temperatura de 500°C (răcirea făcîndu-se în cuptor).

Magneziul și *aliajele sale* se sudează cu preîncălzire, piesele laminate la temperatura de 250—350°C, iar cele turnate pînă la 400°C. Flacăra trebuie reglată cu un mic exces de acetilenă. Se folosesc fluxuri cu cloruri de litiu și magneziu, amestecate cu fluoruri de calciu, bariu sau aluminiu. După sudare piesele se răcesc lent și se spală fluxurile.

Cuprul prezintă la sudare următoarele caracteristici:

— la temperatura de topire absoarbe oxigen și hidrogen, ceea ce produce degradări calitative;

— are conductibilitate termică foarte mare, din care cauză necesită flacără puternică;

— este fragil între temperaturile de 450 și 650°C, cînd este interzisă ciocănirea (zona fragilității la cald).

Pentru micșorarea dispersiei căldurii, plăcile de sudat se acoperă cu foi de azbest.

După sudare, piesele de cupru trebuie ciocănite în afara zonei fragilității la cald, pentru micșorarea tensiunilor și obținerea unei granulații fine; apoi piesa se încălzește la 650°C și se răcește brusc în apă. Tablele cu grosimi peste 5 mm se sudează numai prin metoda în cusătură dublă.

Aliajele cuprului care conțin zinc (alamă, tombac, aplaca) se sudează cu flacără oxidantă folosindu-se aceleași fluxuri ca la cupru. Înainte de sudare piesele se decapează, iar după sudare se ciocănesc ușor pe linia de sudură, se curăță de flux, se încălzesc la 650°C și se răcesc lent.

Bronzurile sînt dificile la sudat, deoarece preîncălzite la 300—400°C sînt fragile. Se folosesc materiale de adaos de aceeași calitate. Bronzurile cu staniu vor fi răcite după sudare foarte încet în nisip fierbinte sau prin înfășurare în foi de azbest.

Nichelul poate fi sudat în bune condiții cu flacără de gaz, dacă se folosesc fluxuri și materiale de adaos de aceeași calitate. Înainte de sudarea materialului trebuie curățat cu atenție, se preîncălzește la 150—250°C. Acetilena folosită la sudare este dizolvată, iar metodele de sudare sînt aceleași ca și pentru sudarea oțelului.

Pentru sudarea zincului nu se folosește acetilenă și hidrogen ci gaze naturale. Este necesară folosirea fluxului compus din clorură de amoniu și oxid de fier. Se sudează numai prin metoda spre stînga. După sudare, cusătura se ciocănește cu bătăi dese și ușoare la temperatura de 120—150°C.

e. **Încărcarea prin sudare.** *Încărcarea pentru recondiționare* prin sudare cu flacără de gaze este larg folosită, deoarece cu flacără ușor carburantă pot fi obținute topiri superficiale de depuneri foarte subțiri (0,8 mm).

Încercarea pentru obținerea de suprafețe dure se realizează cu materiale d adaos cu durități mari. *Sormanitul* este un aliaj dur turnat în bare sau vergele cu conținut mare de carburi de crom. După încărcare piesele se normalizează la circa 900°C, se călesc și se execută revenirea, obținîndu-se durități de 75—80 HRC. *Stelitul*, aliaj dur, format din carburi de wolfram și crom cu liant de cobalt și fier, se topește la 1 350°C. Piesele încărcate au duritatea de 70—80 HRC și nu necesită tratamente termice. Cu sormanit și stelit se încarcă ștanțe, plăci, matrițe, calibre etc. *Relitul* este o carbură cu duritatea de 92—94 HRC, sub formă de granule, care nu se topește la încărcare, ci pătrund în masa de la suprafața piesei de încărcat. Se folosește pentru construcția utilajului petrolier.

f. Controlul și încercarea sudurilor. 1) *Defectele sudurilor și a pieselor sudate.* Defectele pot apărea atît în sudură cît și în zonele învecinate sudurii. O sudură de calitate trebuie să aibă la exterior un aspect lucios, iar la interior să fie compactă, fără pori sau incluziuni. După amplasarea lor, defectele la suduri pot fi: exterioare sau interioare.

Defectele exterioare ale sudurii sînt:

— abateri de la dimensiuni, ca: neuniformități, îngroșări, deplasări de la axa rostului, abateri de formă etc.;

— discontinuități de linie și nivel, ca: crestături marginale, scurgeri, cratere, străpungeri;

— fisuri exterioare produse în timpul sudării sau răcirii.

Defectele interioare ale sudurilor sînt (fig. 27.14):

— nepătrunderile, caracterizate prin faptul că piesa de bază și cordonul de sudură nu au făcut masă comună pe o anumită porțiune;

— incluziuni de gaze și incluziuni solide de zgură, de flux sau de oxizi;

— fisuri interioare, formînd defectele cele mai grave;

— compoziție chimică necorespunzătoare care provine din excesul de acetilenă care carburează sudura.

2) *Controlul îmbinărilor sudate.* Controlul asupra lucrărilor de sudură trebuie să se execute atît de organele de control tehnic cît și de organele de execuție; el trebuie să se refere la materialele și dispozitivele folosite, timpul de execuție și asupra calității lucrărilor efectuate.

Controlul preventiv prevede verificarea calității materialelor folosite, utilajului de sudare și a aparatelor de măsurat, verificarea dimensională a reperelor, a rosturilor și a stării acestora. De asemenea în controlul preventiv se

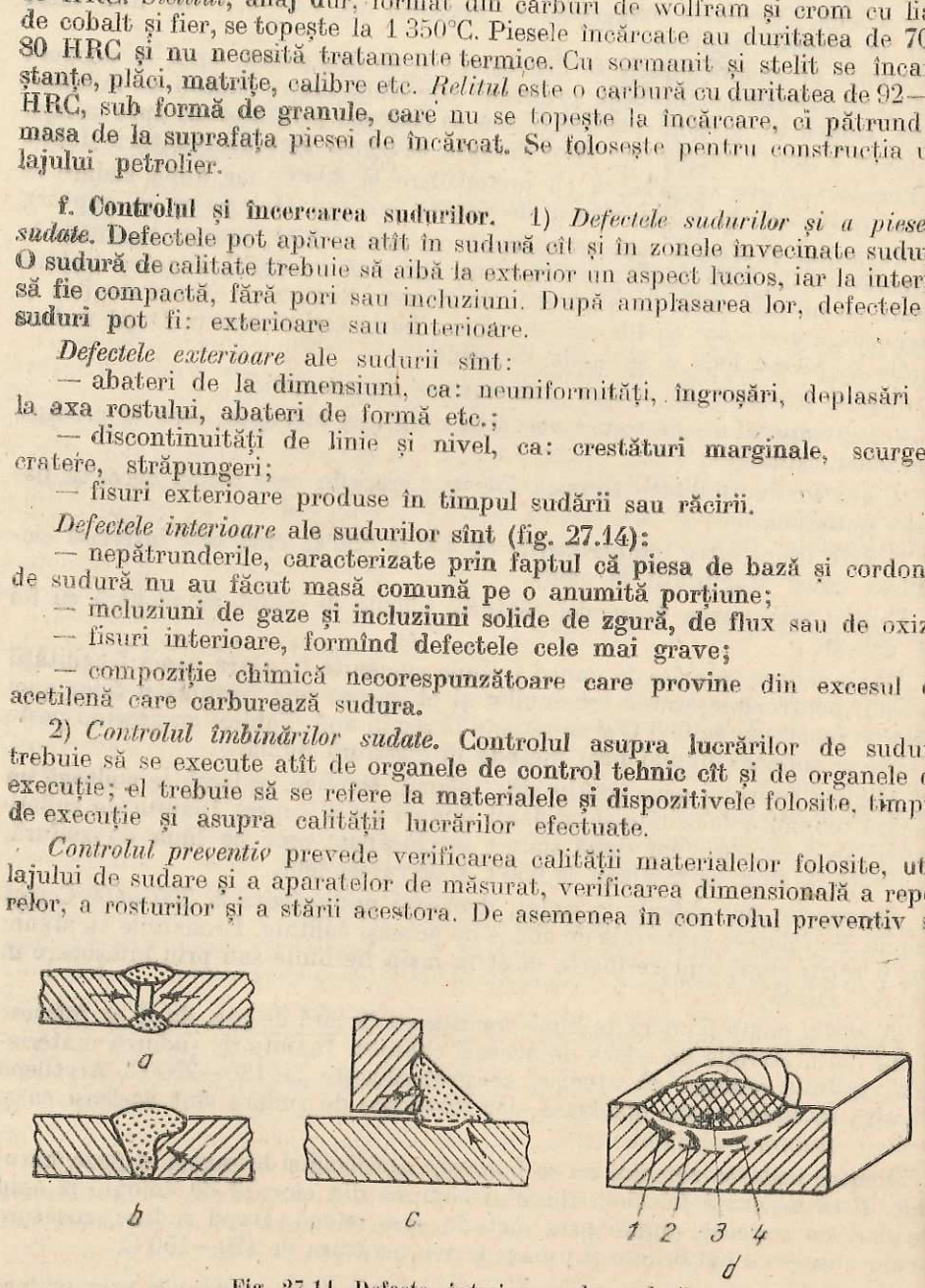


Fig. 27.14. Defecte interioare ale sudurilor:
a — nepătrunderea; *b*, *c* — nealierea; *d* — fisuri; *1* — în zona de tăiere; *2* — transversală; *3* — în zona de pătrundere; *4* — zona de sub sudură.

verifică sudabilitatea materialului, caracteristicile mecanice ale îmbinărilor prin încercări asupra epruvetelor.

Controlul în timpul execuției sudării cuprinde: verificarea regiunilor de sudare, a depunerilor rîndurilor și straturilor de sudură, încercări asupra rezistenței mecanice, a îmbinărilor corespunzătoare tipului de îmbinare (pentru asamblările cap în cap: încercare la tracțiune, la îndoire, la rezistență, la duritate; pentru îmbinările la colț; încercare la tracțiune și la forfecare).

Controlul după execuția sudării poate fi făcut prin probe distructive, dacă cunoașterea caracteristicilor mecanice ale sudurii o cere, sau prin probe nedistructive.

Principalele metode de *control nedistructiv* a îmbinărilor sudate sînt:

— *controlul vizual* al aspectului exterior în care scop se folosesc lupe, șabloane, calibre;

— *controlul cu radiații*, care se bazează pe emiterea unor raze penetrante (X sau gamma) care, trecînd prin materialul sudat, impresionează o placă fotografică. Defectele absorb razele, astfel ele vor ieși în evidență pe placă. Așezarea casetelor și direcția gazelor sînt reprezentate în figura 27.15;

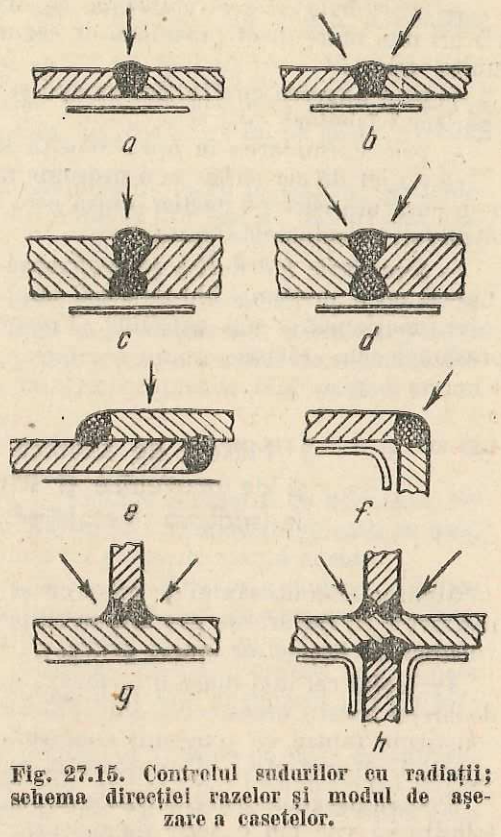


Fig. 27.15. Controlul sudurilor cu radiații; schema direcției razelor și modul de așezare a casetelor.

— *controlul cu ultrasunete*, care se bazează pe faptul că la trecerea dintr-un mediu în altul, ultrasunetele respectă legile refracției, iar cînd întîlnesc un obstacol, ele se reflectă după legile reflexiei. Defectele sînt detectate prin intensitatea mai redusă după reflexiile produse;

— *controlul cu flux magnetic*, ce se execută cu pulberi magnetice sau prin inducție și se bazează pe proprietatea de deformare a fluxului magnetic în cazul cînd în drumul său printr-un material magnetic sînt defecte. Oxidul de fier presărat pe piesa de cercetat produce aglomerări în dreptul defectelor indicîndu-le forma și mărimea. În cazul controlului prin inducție, un tator recepționează fluxurile de dispersie formate de defecte și sînt primite amplificat într-o cască receptoare.

Controlul etanșeității cusăturilor. Încercările la etanșeitate a recipientelor sau conductelor executate prin sudură se fac în mai multe feluri, și anume:

— *încercarea cu petrol lampant* se execută astfel: partea cea mai accesibilă se unge cu o suspensie de cretă în apă și se lasă să se usuce. Partea opusă se unge cu petrol lampant și dacă, după 15—30 min. pe suprafața cu cretă nu apar pete de petrol, cusătura se consideră corespunzătoare. Se aplică vaselor deschise și rezervoarelor;

— *încercările cu aer comprimat* se execută folosindu-se presiuni cu 1,2—1,5 ori mai mare decît presiunea de regim. Controlul poate fi executat în mai multe feluri:

— prin ungerea cusăturilor cu apă și săpun și detectarea neetanșărilor la apariția bășicilor;

— prin cufundarea în apă, folosită la produse de volum redus;

— cu jet de aer suflat la o presiune minimă de 4 bar dirijat perpendicular pe o cusătură care pe partea opusă este unsă cu apă și săpun. Se aplică recipientelor, conductelor etc.;

— *încercările hidraulice* se realizează prin umplerea parțială sau totală (uneori cu o presiune hidrostatică suplimentară) a recipientelor sau vaselor care funcționează sub presiune. Presiunea de încărcare este de 1,5—2 ori presiunea de răcire.

3. Măsuri de tehnică a securității muncii și de prevenire și stingere a incendiilor la sudarea metalelor cu flacără de gaz

Manipularea utilajului de sudat cît și execuția lucrărilor de sudare și tăierea metalelor cu flacără de gaz impun respectarea unor norme, care să evite provocarea de accidente foarte grave, ca urmare a unor explozii sau incendii.

Pericolul cel mai mare îl formează amestecul acetilenei cu aer sau oxigen, deoarece aceste amestecuri sînt puternic explozive. Un alt pericol mare îl constituie faptul că oxigenul comprimat, în contact cu substanțe organice (grăsimi, uleiuri etc.), dă naștere la explozii și incendii prin autoaprindere.

Pentru prevenirea accidentelor ce pot fi provocate de utilajele și materialele folosite se vor lua o serie de măsuri.

La locul de muncă este necesar să fie în permanență o găleată cu apă curată pentru cufundarea arzătorului, în cazul refulării flăcării, precum și echipamentul pentru paza contra incendiilor (stingătoare, lăzi cu nisip etc.).

Sudorii și ajutorii de sudori trebuie să poarte echipamentul de protecție respectiv, iar persoanelor străine nu le este permis să se apropie de locul de muncă.

Generatoarele și buteliile de acetilenă se vor amplasa în afara locului de sudare, în încăperi zidite alăturate cabinei de lucru a sudorului. Distanța dintre generatoare și orice sursă de foc, inclusiv flacăra de sudare, trebuie să fie de minimum 10 m. Este interzis fumatul în apropierea generatorului pe o distanță de 10 m. Sudorii trebuie să cunoască temeinic tipul generatorului și instrucțiunile de folosire. Încărcarea și golirea generatorului se vor face respectîndu-se instrucțiunile întreprinderii producătoare. Nivelul de apă din generator și din supapa de siguranță se va verifica cel puțin de două ori pe schimb.

La terminarea lucrului și întreruperea accesului apei spre carbid, acetilena se va evacua în atmosferă. Reziduul rezultat la producerea acetilenei, hidroxidul de calciu $Ca(OH)_2$, sub formă de nămol, se îndepărtează din generatoare și se aruncă în gropi special destinate acestui scop, deoarece din ele se degajă în continuare acetilenă care poate provoca explozii.

Generatoarele se vor feri de îngheț, iar în cazul cînd vor îngheța se vor dezgheța cu apă fierbinte. Introducerea generatoarelor în secțiile „calde" (forjă, turnătorie, tratamente termice) este interzisă din cauza pericolelor de explozie și incendiu.

Butoaiele de carbid se vor păstra în încăperi separate uscate și acoperite. Nu se permite depozitarea altor materiale în aceste încăperi. La deschiderea butoaielor se vor folosi scule din materiale neferoase, astfel ca să fie exclusă producerea scînteilor.

Buteliile de oxigen se vor păstra în cabinele de lucru în poziție verticală. Buteliile, robinetele și reductoarele de presiune se vor feri de uleiuri sau grăsimi, deoarece se pot produce explozii. Reductoarele de presiune vor fi verificate înainte de folosire, dacă sînt complet etanșe.

Pentru aprinderea arzătorului, se deschide întîi robinetul de oxigen cu un sfert pînă la o jumătate de rotație, apoi se deschide ușor robinetul pentru acetilenă și se apropie flacăra; după aprinderea amestecului se reglează flacăra (normală sau carburantul). Dacă flacăra se aprinde fără oxigen, fumul produs se depune pe orificiul becului.

Nu este permisă deplasarea, urcarea sau coborîrea cu suflaiul aprins și cu tuburile de cauciuc purtate sub braț sau pe umeri.

Dacă arzătorul s-a încălzit prea tare, se închide robinetul de acetilenă, iar cu robinetul de oxigen puțin deschis, arzătorul se scufundă în găleata cu apă.

Orificiile becurilor se vor curăța numai cu sîrme de alamă curate.

Capetele tuburilor de cauciuc montate se vor fixa prin coliere metalice bine strînse. Tuburile nu trebuie să fie puse în contact cu corpuri încălzite sau să fie apăsate de piese grele. Tuburile defecte se vor înlocui cu altele noi.

Locul de muncă trebuie bine aerisit, păstrat curat și în ordine. În cabinele de lucru se vor prevedea mese pentru piesele nesudate și separat pentru piesele sudate.

Nu este permisă sudarea pieselor cu grăsimi și vopsele pe linia de sudare, curățirea, de fiecare parte a rostului, trebuie făcută pe o lățime de cel puțin 100 mm. În cazul sudării în rezervoare în care au fost depozitate substanțe inflamabile, acestea vor fi curățate cu abur suflat.

Pentru sudarea în poziții incomode (în genunchi, culcat etc.) se vor așterne covoare de cauciuc căptușite cu pînză ignifugă.

Capitolul 28

SUDAREA PRIN PRESIUNE

Sudarea prin presiune este procedeul de îmbinare, destinat obținerii d piese sau subansambluri, realizat prin aplicarea unor forțe exterioare. Efect forțelor exterioare depinde de temperatura zonelor adiacente ale pieselor d sudat și de anumite particularități ale procedeului utilizat.

Rolul forțelor exterioare constă în principal în următoarele: aducere pieselor de sudat într-un contact strîns prin deformarea lor plastică; obțin rea unei suduri în care metalul să fie compact, lipsit de goluri și cu tensiun interne reduse; să asigure închiderea spațiului în care are loc topirea evitîn du-se astfel interacțiunea metalului topit cu mediul înconjurător precum expulzarea metalului topit din zona sudării care conține oxizi și alte impurități

După temperatura maximă care se atinge în locul de sudare, procedeel de sudare prin presiune se împart în : *suduri la rece*, care nu depășesc tempera tura de recristalizare, și *suduri la cald*, la care se produc recristalizări în cusă tură. Sudarea la rece se poate executa numai prin presare sau prin presar și vibrare. Sudarea la cald se execută în stare solidă sau prin topire.

Încălzirea pieselor se poate realiza cu surse de încălzire indirecte, reacți chimice exoterme în mediul înconjurător sau surse directe și anume efectu termic al curentului electric și frecarea uscată.

1. Procedee de sudare

a. **Sudarea prin presiune cu încălzire cu flacără.** Procedeul se aplică l sudarea în capete în stare solidă, flacăra încălzind simultan întreaga zonă îmbinării (fig. 28.1). Capetele de sudat, pregătite prin prelucrare, sînt ampla sate în interiorul unui arzător inelar care produce încălzirea metalului pîn la starea plastică (1200—1250°C, în cazul oțelului). Aplicînd o presiune d 200—400 daN/cm² se realizează, prin refulare, sudarea celor două capete Pentru a se evita supraîncălzirea straturilor de suprafață, arzătorul execut mișcări axiale oscilatorii în jurul secțiunii de contact.

O variantă a procedeului constă în încălzirea metalului cu flacără, ap topirea porțiunii de sudat cu arzătorul fixat în dreptul secțiunii de contact după care se aplică presiuni intermitente. În acest fel, se expulsează materia

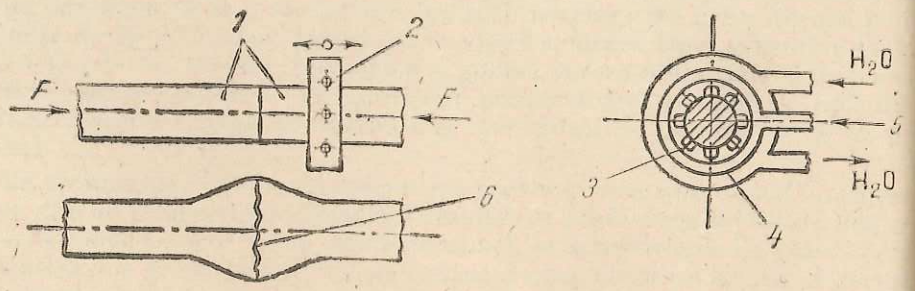


Fig. 28.1. Sudarea prin presiune și încălzirea cu flacără:
1 — componentele de îmbinat; *2* — arzător inelar; *3* — flăcări multiple; *4* — circuit d răcire; *5* — amestec de gaz și oxigen; *6* — sudarea realizată prin refulare.

lul topit și impuritățile dintre suprafețele de sudat. La piesele cu grosimi mari pentru a se evita o încălzire neuniformă, se folosește un arzător special, care permite numai încălzirea frontală a pieselor de sudat. Arzătorul se îndepărtează înainte de a se începe presarea.

b. **Sudarea prin presiune cu încălzire electrică de contact.** Procedeul este cunoscut sub denumirea de *sudare electrică prin rezistență*, iar îmbinările pot fi executate în capete, în puncte sau în linie.

1) *Sudarea în capete.* Procedeul de sudare în capete constă în încălzirea prin rezistența de contact a părților frontale ale pieselor de sudat, după care se execută operația de presare cu o anumită forță. Sudarea în capete se poate realiza în stare solidă și în stare topită.

a) *Sudarea în capete în stare solidă.* Principiul procedeului este redat în figura 28.2. Piesele de sudat *1, 2* sînt fixate la o distanță de 2 *l* între dispozitivele de strîngere *3* și *4*, prin intermediul cărora este condus curentul electric de la secundarul transformatorului *5* și exercită presarea cu o forță *F*. Dispozitivele sînt fixate de batiul mașinii.

Încălzirea metalului, în cazul sudării în stare solidă, se realizează prin efectul Joule, în urma parcurgerii de către curentul de sudare a pieselor de sudat. Căldura totală Q_t degajată în piesele supuse sudării, atunci cînd ele sînt parcurse de către curentul I_s, este dată de relația:

$$Q_t = 0{,}24 \cdot [2R_p(t) + R_c(t)]\, I_s^2\, t_s [\text{kJ}], \qquad (28.1)$$

în care:

R_p este rezistența electrică a pieselor de sudat;

R_c — rezistența de contact din regiunea de îmbinare a celor două piese;

t_s — timpul de sudare.

Operația de sudare se realizează în două etape: încălzirea pieselor și aplicarea presiunii de refulare.

b) *Încălzirea pieselor.* Piesele pregătite pe partea frontală, printr-o prelucrare îngrijită și curățate chimic, se aduc în contact și se supun unei presiuni mici de 1—1,5 bar. Prin conectarea curentului electric se produce încălzirea pieselor de sudat pînă la temperatura de deformare plastică care depinde de natura materialului metalic supus sudării.

Regimul de încălzire depinde de densitatea de curent și de durata de menținere sub curent. Densitatea de curent crește cu conductivitatea electrică și termică a metalului de sudat și cu micșorarea secțiunii transversale a materialului de sudat (datorită pierderilor mai mari de căldură către mediul ambiant). Densitățile de curent pot fi între 10 și 100 A/mm² în cazul oțelului moale (uzual 20—60 A/mm²), 150—200 A/mm² la aluminiu și 250—300 A/mm² la cupru.

Durata de menținere sub curent și densitate de curent se condiționează reciproc; de obicei, această durată este de 0,5 pînă la 15 s. Timpii de sudare mici nu sînt favorabili întrucît se produce o încălzire neuniformă în secțiune

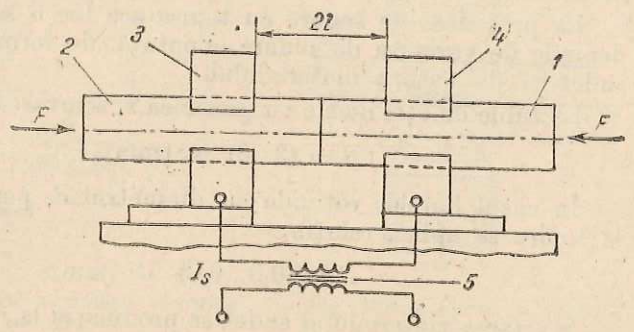


Fig. 28.2. Schema de principiu a sudării electrice prin rezistență în capete.

și o absorbție mai mare a puterii electrice. Energia necesară pentru realizarea unei anumite suduri crește cu mărirea duratei de încălzire, în schimb scade puterea absorbită de la rețea,

c) *Aplicarea presiunii de refulare.* După atingerea temperaturii de deformare plastică se aplică forța de presare pentru realizarea refulării. Această presiune este de 1,5—3 bar în cazul oțelului moale, de 3,5—5 bar la oțeluri aliate, iar la aliaje neferoase de 1—1,5 bar. Refularea se realizează prin deplasarea unuia din dispozitivele de prindere, celălalt menținîndu-se fix. După atingerea unei anumite deformări plastice, se întrerupe curentul electric, piesele se răcesc și rămîn îmbinate în capete, avînd o lungime mai mică decît cea inițială datorită refulării.

Procedeul de sudare în capete se aplică la piese cu diametrul de 15—20 mm, cum sînt: fier-beton, elemente de construcție, benzi, obezi de roți, flanșe, inele, axe cardanice etc.

Pentru realizarea unor suduri de calitate superioară, în serii mari, cum sînt supape de motoare, scule așchietoare din oțel rapid cu suporturi din oțeluri carbon etc., se folosesc instalații automate în atmosfera de gaz protector în zona de contact.

Procedeul de sudare în capete în stare solidă prezintă avantajul simplității, execuției rapide și posibilității de automatizare. În același timp, procedeul prezintă și dezavantaje deoarece oxizii formați în timpul încălzirii și impuritățile de pe părțile frontale rămîn în cusătură, provocînd diminuarea caracteristicilor mecanice ale pieselor sudate.

d) *Sudarea în capete cu topire.* În cazul acestui procedeu, încălzirea se conduce astfel încît pe suprafețele frontale ale pieselor de sudat să se obțină o peliculă de metal lichid ce se elimină, împreună cu oxizii și impuritățile în timpul presării cu viteză mare. Procedeul se realizează, de asemenea, în două etape: topirea și refularea metalului.

Topirea se poate realiza direct sau cu preîncălzire. La topirea directă, capetele de sudat sînt apropiate cu viteză mică și cu presiune neînsemnată, fapt ce determină formarea unor joncțiuni parțiale și încălzire rapidă pînă la topire.

În cazul metodei de sudare prin topire cu preîncălzire, pentru realizarea preîncălzirii se stabilesc contacte intermitente între suprafețele frontale ale pieselor de sudat, prin apropierea lor cu viteze mari.

Refularea se obține prin deplasarea rapidă a dispozitivului de fixare mobil. La procedeul cu topire directă presiunea de refulare este de 8—14 bar, iar la procedeul cu preîncălzire de 4—6 bar.

La procedeul de sudare cu topire are loc o scurtare a materialului care depinde de varianta de sudare adoptată, de forma geometrică a pieselor de sudat și de natura materialului.

La table de oțel moale cu grosimea s, scurtarea S se determină cu relația:

$$S = (3...6)\ s\ \text{[mm]}. \tag{28.2}$$

În cazul barelor rotunde cu diametrul d, pentru determinarea scurtării la topire se aplică relația:

$$S = (0{,}5...0{,}6)\ d\ \text{[mm]}. \tag{28.3}$$

Scurtarea materialului sudat se produce și la refulare. Pentru a se asigura o bună închidere a spațiului dintre capetele pieselor de sudat, eliminarea oxizilor și a impurităților precum și realizarea unei deformări plastice corespun-

zătoare este necesar ca scurtarea la refulare să fie suficient de mare. Valorile orientative ale scurtării la refulare se calculează cu relația:

$$\Delta r = 0{,}7\ \sqrt[3]{d} + 0{,}07\ d\ \text{[mm]} \tag{28.4}$$

Compresiunea specifică la refulare va fi cu atît mai mare cu cît rezistența la cald a materialului de sudat este mai mare.

Viteza de refulare crește la materialele de sudat care conțin mai multe elemente cu afinitate chimică ridicată față de oxigen.

e) *Sudarea în puncte.* Îmbinarea prin sudare în puncte se realizează în principiu prin trecerea unui curent electric printr-un contact și încălzirea contactului respectiv la temperaturi ridicate, urmată de presarea și răcirea sub presiune. Se pot suda simultan unul sau mai multe puncte.

După modul de realizare a circuitului electric sudarea în puncte poate fi din două părți și dintr-o singură parte.

Sudarea în puncte din două părți (fig. 28.3) se execută prin presarea tablelor de sudat *1* și *2* cu o forță P între doi electrozi *3* și *4*, care acționează pe ambele părți, fiind conectați la secundarul unui transformator de sudare *5*, prevăzut cu comutatorul de prize *6*. Transformatorul este racordat la rețeaua de alimentare prin intermediul unui contactor mecanic comandat de sistemul de comandă *8* care asigură programarea curentului prin elementul *7* și a forței prin elementul *9*.

Procedeul constă în realizarea presiunii după care se conectează transformatorul de sudură. Ca urmare, ia naștere un curent de densitate maximă care se stabilește între cei doi electrozi și care trece și prin rezistența de contact între cele două piese. Căldura care se dezvoltă prin efectul Joule determină o creștere a temperaturii în zona de contact. Pe măsura încălzirii metalului, rezistența de contact se micșorează, iar rezistivitatea crește, astfel că sursa termică se extinde în jurul rezistenței de contact, formînd un nucleu de metal topit, cu participarea ambelor piese (fig. 28.4).

Nucleul de metal topit este înconjurat în planul de contact de un inel de grăunți cristalini comuni, format prin sudarea în stare păstoasă datorită forței de presare P.

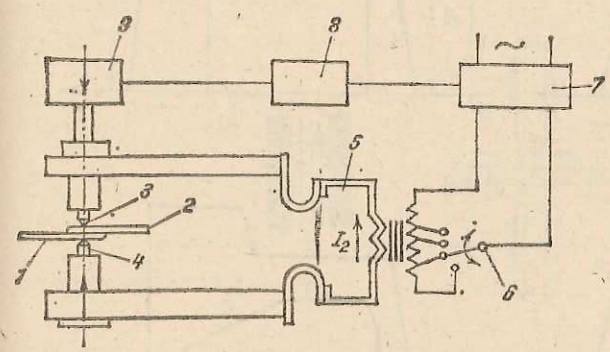


Fig. 28.3. Schema de principiu a sudării electrice prin rezistență în puncte.

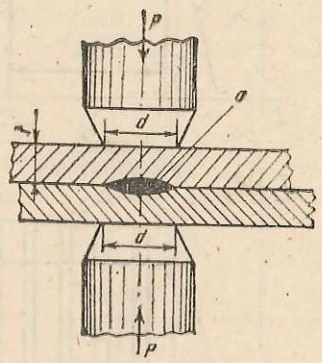


Fig. 28.4. Sudarea în puncte: d — diametrul electrodului; s — grosimea tablei; a — punct de metal topit.

Întreruperea curentului după formarea nucleului topit provoacă solidificarea metalului și obținerea unui punct sudat rezistent. Mai multe puncte așezate după o traiectorie formează o cusătură în puncte.

În figura 28.5 sînt reprezentate diagramele caracteristice care indică variația curentului I_2 și a forței P în timpul sudării, în cazul folosirii curentului alternativ.

Varianta *a* se aplică la sudarea tablelor cu grosimi de 4—6 mm din oțeluri cu călibilitate redusă. După ce forța P atinge o anumită valoare, constantă pe toată durata procesului, se stabilește și un curent I_2 constant pentru o durată t_1. Pentru intervalul t_2 se anulează curentul. În acest timp, se menține presiunea asupra nucleului topit pentru a împiedica afînarea metalului în timpul solidificării.

În unele cazuri, după întreruperea curentului de sudare se mărește forța de presare (varianta *b*). Această variantă se aplică în cazul tablelor cu grosimi peste 6 mm din oțel moale sau la table din aliaje ușoare a căror grosime nu depășește 1—1,5 mm.

La piese de grosime mare (peste 5 mm) și cu suprafața mai puțin netedă se aplică o încălzire treptată a suprafețelor de contact și a metalului din zona cuprinsă între electrozii de contact. Acest mod de încălzire se poate realiza prin conectarea intermitentă a curentului de sudare (varianta *c*). În acest fel se evită o încălzire excesivă a electrozilor.

La sudarea unor piese importante din aliaje de aluminiu cu grosimi de 2—5 mm este necesară o variație continuă a curentului și a forței de presare (varianta *d*). Avantajul măririi continue a curentului constă în aceea că se împiedică formarea unor puncte discrete de sudare între electrozii de contact și piesele de sudat cînd acestea sînt din metale neferoase sau table placate. Prin reducerea continuă a curentului la sudarea aluminiului, magneziului și a unor oțeluri aliate este posibilă eliminarea porilor și a fisurilor.

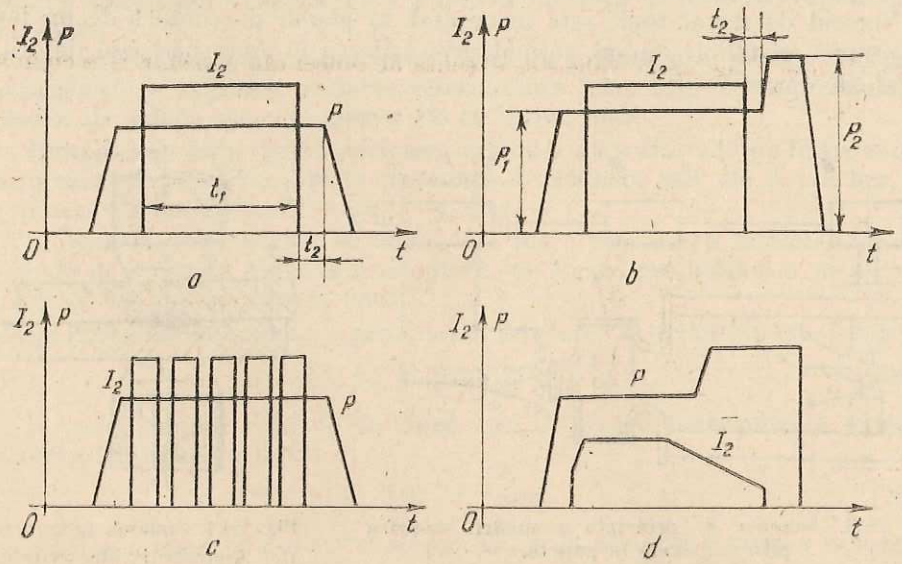


Fig. 28.5. Diagrame caracteristice ale sudării în puncte care indică variația curentului I_s și a forței F.

Sudarea în puncte dintr-o singură parte (fig. 28.6). În cazul acestui procedeu piesele de sudat *1'* și *1''* se presează pe suportul *2* cu ajutorul electrozilor *3*. Piesele *1'* și *1''* nu se află în contact electric direct, de aceea curentul secundar străbate contactele stabilite între *1'* și *2* și *2 — 1''*. Procedeul se aplică tablelor din oțel cu grosimi de pînă la 2,5 mm.

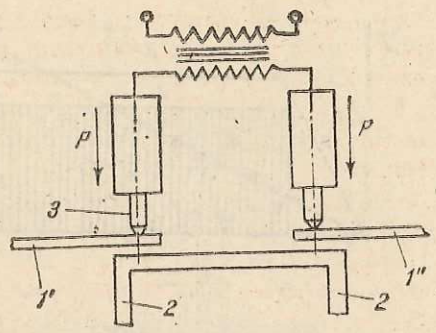


Fig. 28.6. Schema sudării în puncte dintr-o singură parte.

Regimul de sudare. La sudarea prin puncte regimul de sudare cuprinde următorii parametri principali: intensitatea curentului de sudare, diametrul electrodului, forța de apăsare și timpul de sudare.

În practica industrială se aplică două regimuri de sudare:

— *regimuri moi*, caracterizate prin: durată mare (1,5—3 s); apăsare mică (< 5 bar) și densitatea de curent mică (70—160 A/mm²);

— *regimuri tari*, caracterizate prin: durată mică (0,02—1,5 s), apăsare mare (> 5 bar) și densitatea de curent mare (160—400 A/mm²).

Regimul moale se aplică la sudarea pieselor din oțeluri moi sau în cazul oțelurilor călibile cu grosime peste 1 mm.

Regimul tare se folosește la sudarea tablelor din oțel inoxidabil, aluminiu și aliajele sale, alte metale și aliaje neferoase cum și la piese din oțel carbon moale cu grosime foarte mică.

Sudarea în puncte se aplică în industria autoturismelor, autobuzelor, avioanelor, vagoanelor etc. De asemenea, se folosește la executarea plaselor din sîrmă, carcaselor pentru armarea betonului și în domeniul construcțiilor metalice.

c. **Sudarea în linie.** Procedeul de sudare în linie are la bază aceleași principii și utilaje ca și sudarea în puncte, cu deosebirea că electrozii au forma unor role de contact (fig. 28.7). Rolele se execută de obicei din cupru, răcite cu apă,

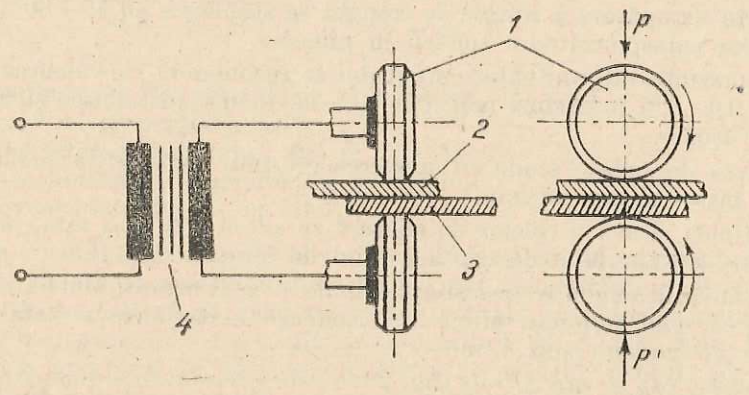


Fig. 28.7. Schema de principiu a sudării electrice prin rezistență în linie:

1 — role de contact (electrozi); *2*, *3* — tablele de sudat; *4* — secundarul transformatorului.

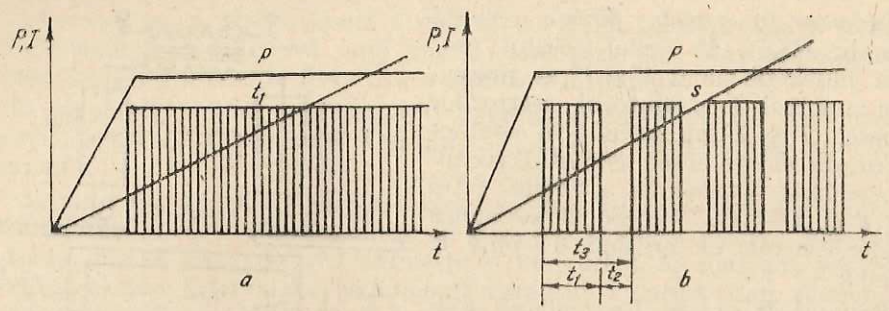


Fig. 28.8. Diagrame caracteristice ale sudării în linie:
a — valori constante pentru curent; *b* — conectarea și întreruperea ritmică a curentului; t_1 — durata impulsului de curent; t_2 — durata pauzei; t_3 — durata ciclului; *s* — cursa rolelor.

avînd menirea de a produce presarea tablelor. Prin frecare, rolele antrenează tablele într-o mișcare de avans cu viteza de sudare v_s.

Regimul de sudare în linie se aplică în două variante, și anume:

— Regimul caracterizat prin valori constante pentru curent și forța de apăsare (fig. 28.8, *a*). Această variantă prezintă dezavantajul supraîncălzirii suprafeței de contact, de aceea este mai puțin folosită. Supraîncălzirea se datorește propagării căldurii cu o viteză mai mare decît viteza de sudare.

— Regimul caracterizat prin întrerupere și conectare ritmică a curentului în timp ce rolele de contact au o turație constantă (fig. 28.8, *b*). În funcție de ritmul întreruperilor și de viteza de deplasare a rolelor se obțin puncte distincte sau suprapuse. În ultimul caz îmbinarea sudată devine etanșă. Această variantă a sudării în linie permite realizarea unor viteze mari de sudare și o calitate superioară a îmbinării.

Principalii parametri ai procesului de sudare sînt: curentul de sudare, forța de apăsare a rolelor, pasul dintre două puncte succesive, condițiile de intermitență a curentului, viteza de sudare și dimensiunile rolelor de contact.

În general, la sudarea în linie, curentul este de 1,5—2 ori mai mare decît la sudarea în puncte, la același material și la aceeași grosime.

Forța de apăsare a rolelor de contact se stabilește cu 10—30% mai mare decît cea corespunzătoare sudării în puncte.

În privința intermitenței curentului se recomandă ca valoarea raportului $t_1/t_3 = 0{,}4...0{,}6$, la oțeluri moi, 0,3—0,5 la oțeluri austenitice și 0,3—0,45 la aliaje ușoare.

Viteza de sudare scade cu creșterea grosimii tablelor de sudat, fiind cuprinsă între 0,5 și 3 m/min.

Lățimea activă a rolelor de contact se adoptă $2s + 2$ mm, iar razele de rotunjire a suprafeței de contact fiind de 50—75 mm.

Sudarea în linie are aceeași aplicabilitate ca și cea în puncte, însă permite obținerea unor îmbinări etanșe. Se sudează materialele metalului de orice natură cu grosimi sub 4 mm.

Sudarea cap în cap cu role (fig. 28.9) este o variantă a sudării în linie care se aplică la sudarea țevilor după generatoare. Banda de oțel îndoită sub forma unui tub *1* este presată între rolele *2*, care, datorită frecării, determină și avansarea țevilor. Perpendicular pe direcția de presare sînt amplasate rolele de contact *3* și rola de sprijin *4*. Prin acest procedeu se sudează țevi

din oțel carbon cu diametrul între 10 și 400 mm și grosimea peretelui de 0,5—14 mm.

d. **Sudarea prin presiune cu încălzire prin inducție.** Încălzirea prin inducție se realizează cu o sursă de curent alternativ de frecvență corespunzătoare și cu un inductor potrivit formei, dimensiunilor și proprietăților piesei de sudat. Schema de principiu a unei instalații de sudare prin presiune cu încălzire prin inducție este reprezentată în figura 28.10.

Echipamentul de înaltă frecvență *1* alimentează, printr-un circuit de încărcare, primarul unui transformator *2*, iar secundarul transformatorului alimentează inductorul *3*, în interiorul căruia se plasează piesa de sudat *4*.

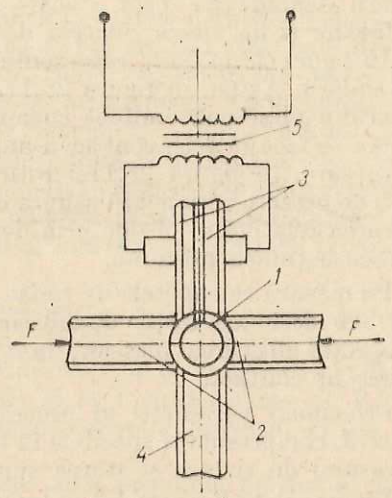


Fig. 28.9. Sudarea cap în cap cu role.

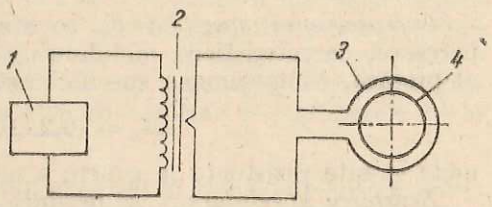


Fig. 28.10. Schema de principiu a sudării prin presiune cu încălzire prin inducție.

Încălzirea prin inducție se realizează datorită efectului pelicular și anume, cu cît frecvența curentului este mai mare, cu atît curentul are tendința de a crește spre straturile superficiale ale pieselor. Datorită densității mari de curent, piesele se încălzesc la temperaturi ridicate. Adîncimea de pătrundere a curentului electric depinde de rezistivitatea și permeabilitatea magnetică a metalului și de frecvența curentului, conform expresiei:

$$d = k\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}\ [\text{mm}], \qquad (28.5)$$

în care:

d este adîncimea de pătrundere a încălzirii, în mm;
k — factor de proporționalitate;
ρ — rezistivitatea metalului, în $\Omega\ \text{mm}^2/\text{m}$;
μ — permeabilitatea magnetică a metalului;
f — frecvența curentului, în Hz.

Sudarea cu inducție se aplică la sudarea tablelor cap în cap pentru fabricarea țevilor sudate pe generatoare. Procedeul este asemănător cu cel de sudare în linie cu deosebirea că în locul rolelor de contact se plasează inductorul. Sudarea se realizează la o frecvență de alimentare de 2—500 kHz funcție de adîncimea necesară de pătrundere. Datorită costului ridicat, procedeul de sudare prin inducție se aplică la țevi din aluminiu, din oțel austenitic etc.

e. **Sudarea prin frecare.** La procedeul de sudare prin frecare, încălzirea suprafețelor de îmbinat se realizează pe seama forțelor de frecare dezvoltate între două suprafețe aflate în mișcare relativă. Căldura degajată datorită

frecării depinde de forța P care presează reciproc piesele, de coeficientul de frecare și de viteza relativă de deplasare.

În figura 28.11 sînt reprezentate diferite variante ale încălzirii în vederea sudării. Astfel, în figura 28.11,*a*, mișcarea relativă se obține prin rotirea uneia din piese concomitent cu aplicarea forței de presare, în figura 28.11,*b* rotirea se face în sens contrar a ambelor piese concomitent cu acțiunea forței de presare, în figura 28.11,*c* rotirea se aplică unei piese intermediare, iar forța de presare acționează asupra celor două piese extreme și în figura 28.11,*d* mișcarea relativă se obține prin deplasarea alternativă a unei piese concomitent cu acțiunea presiunii.

Pe măsură ce capetele de sudat se încălzesc are loc și deformarea lor plastică sub acțiunea forței de presare. După atingerea temperaturii necesare, se oprește mișcarea pieselor, fapt ce permite realizarea îmbinărilor suprafețelor în contact.

Principalii parametri ai procesului de sudare prin frecare sînt: viteza relativă, compresiunea specifică în timpul sudării, scurtarea la refulare, durata procesului de sudare și starea suprafețelor.

Viteza relativă periferică v_p poate varia în limite foarte largi, fără o influență însemnată asupra rezistenței îmbinărilor sudate. În condiții normale de lucru $v_p = 2 \ldots 3$ m/s.

Compresiunea specifică K_s se stabilește în raport cu productivitatea necesară, caracteristicile metalului și puterea disponibilă. În stadiul final al presării, compresiunea specifică este dată de expresia:

$$K_s = (0{,}2 \ldots 0{,}4)\ \sigma_r [\text{daN/mm}^2], \qquad (28.6)$$

unde σ_r este rezistența la rupere a metalelor la temperatura obișnuită.

Scurtarea la refulare S_r se produce datorită acțiunii forței axiale și determină expulzarea oxizilor și a impurităților de pe suprafețele de îmbinat. Valoarea scurtării la refulare se determină cu relația:

$$S_r = (0{,}25 \ldots 0{,}35)d[\text{mm}], \qquad (28.7)$$

unde d este diametrul barelor sudate.

Durata procesului este legată de atingerea temperaturii necesară realizării îmbinării sudate, 1200°C în cazul oțelului carbon moale, și de extinderea zonei de încălzire pînă în centrul piesei.

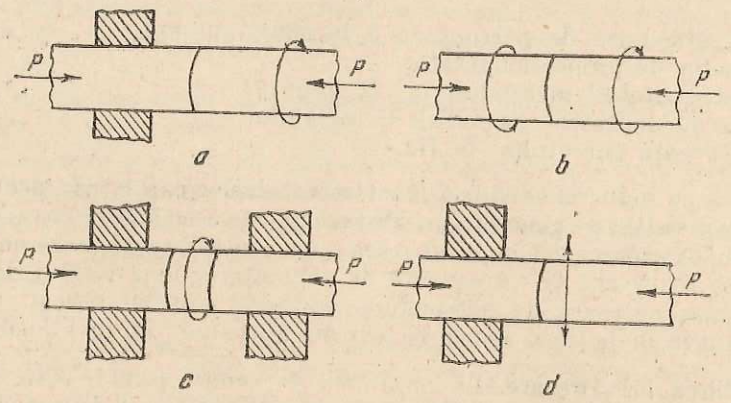


Fig. 28.11. Variantele încălzirii pieselor în vederea sudării prin frecare.

Suprafețele de îmbinat trebuie să fie curățate de oxizi, să fie perpendiculare pe axa barelor și să fie prelucrate îngrijit prin așchiere.

Procedeul de sudare prin frecare se aplică la oțeluri carbon, oțeluri aliate și la metale și aliaje neferoase. De asemenea, se pot suda și materiale diferite, de exemplu: oțel-bronz, cupru-aluminiu etc. Sudarea prin frecare se folosește la îmbinarea pieselor cu secțiuni circulare și cu diametre egale sau diferite, ca de exemplu: sudarea prelungitoarelor burghielor, tijelor de la corpul pistonului, la șuruburi, capul hexagonal de corpul cilindric etc.

În comparație cu sudarea electrică în capete, sudarea prin frecare prezintă următoarele avantaje: consum redus de energie, putere mică de racord a instalației, exploatarea simplă a utilajului și ușurința mecanizării și automatizării procedeului.

f. **Sudarea prin presiune la rece cu ultrasunete.** În cazul acestui procedeu presiunea este exercitată asupra uneia din piesele de sudat prin intermediul unei scule care în același timp are și rolul de sonotrod. Pentru vibrarea sonotrodului la o frecvență de 15—30 kHz și la o amplitudine de 0,001—0,003 mm se folosește un transductor magnetostrictiv prevăzut cu un concentrator ultrasonic (fig. 28.12).

Prin suprapunerea vibrațiilor ultrasonice peste presiunea statică se obține energia de activare necesară realizării sudării care se produce la presiuni mai mici decît în cazul procedeului convențional de sudare la rece.

Procedeul de sudare cu ultrasunete se aplică la sudarea metalelor feroase și neferoase cu grosimi de pînă la 4 mm cu corpuri metalice sau nemetalice cum ar fi materiale ceramice. Îmbinările realizate se caracterizează printr-o bună calitate și o rezistență comparabilă cu cea a metalelor de bază. Procedeul este foarte puțin sensibil la oxizi și la impuritățile de suprafețele metalelor de sudat.

g. **Sudarea prin explozie.** Sudarea prin explozie se aplică la placarea tablelor sau pieselor mari, la obținerea țevilor în diferite corpuri metalice, la sudarea prin suprapunere sau cap în cap a tablelor și în fabricația materialelor întărite cu fibre.

Procedeul se folosește cînd metodele convenționale de îmbinare nu pot fi realizate tehnic sau sînt neeconomice. Astfel, sudarea prin explozie se aplică în cazurile în care nu se pot suda sub presiune metalele cu proprietăți plastice diferite sau cînd nu se pot suda prin topire metale diferite, cum ar fi tantalul sau titanul cu oțelul.

Sudarea prin explozie este deosebit de avantajoasă în cazul fabricației metalelor compuse din mai multe structuri. În acest caz îmbinarea între metale se obține dacă sînt îndeplinite două condiții de bază:

— curățirea bună de oxizi și de impurități a suprafețelor de îmbinat;

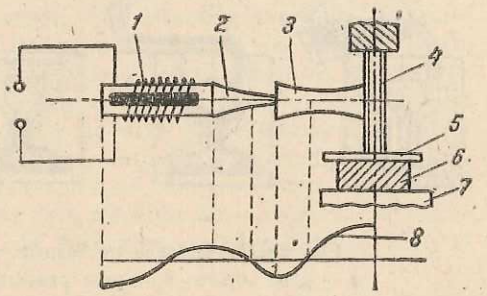


Fig. 28.12. Schema de principiu a sudării prin presiune la rece cu ultrasunete:
1 — transductor magnetostrictiv; *2*, *3* — concentrator; *4* — sonotrod; *5*, *6* — piesele de sudat; *7* — placa de bază (reazem fix); *8* — curba amplificării vibrației.

— apropierea intimă a suprafețelor de îmbinat, astfel încît forțele atomice de interacțiuni să determine o adeziune, adică să stabilească un echilibru între distanțele dintre atomi și potențialul energiei.

Aceste condiții sînt îndeplinite cînd stratul depus lovește cu viteză mare sub un anumit unghi metalul de bază. Viteza de impact este de 200—1 000 m/s.

În cele mai multe cazuri, suprafețele care se placează prin sudare sînt foarte mari, astfel încît cele două plăci se așază paralel sau la un unghi de pînă la 1° una față de cealaltă.

Procedeul se folosește pe scară largă în construcția de utilaje și aparate destinate industriei chimice, și la obținerea în condiții avantajoase a unor materiale compuse pentru care necesitățile nu justifică o fabricație prin laminare.

h. **Sudarea cu termit (aluminotermică).** Termitul este un amestec, sub formă de pulbere, constituit din oxizi de fier 77% și aluminiu 23%. Prin aprinderea acestui amestec cu arc electric sau pe altă cale are loc o reacție puternică datorită afinității mari a aluminiului pentru oxigen. Se produce astfel reducerea oxizilor de fier cu formare a oxidului de aluminiu, iar căldura generată este suficientă pentru a ridica temperatura la 3595°C. Datorită pierderilor de căldură, în zona cusăturii se atinge o temperatură de 2480°C.

Reacția de ardere a termitului este de forma:

$$3Fe_3O_4 + Al = 9Fe + 4Al_2O_3 + Q$$

Sudarea cu termit se poate executa atît prin topire cît și prin presiune, după cum metalul topit participă la topirea metalului de bază sau numai la încălzirea acestuia pentru a fi sudat.

În cazul sudării cu termit prin topire (fig. 28.13,*a*), metalul topit *1* din oala de turnare se toarnă prin orificiul *2*, într-o formă *3* care înconjoară rostul pieselor de sudat. Oxidul de aluminiu (Al_2O_3), avînd greutatea specifică mai mică, se menține la suprafața metalului topit astfel că nu vine în contact cu piesele sudate.

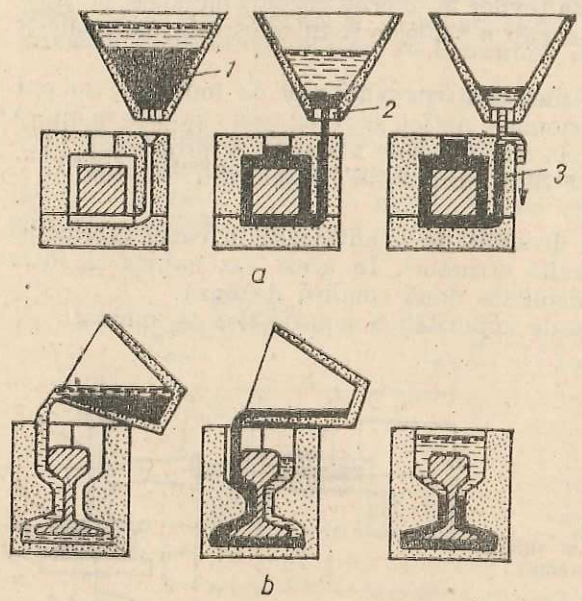


Fig. 28.13. Sudarea cu termit:
a — prin topire; *b* — prin presiune.

La sudarea prin presiune (fig. 28.13,*b*), metalul topit se toarnă prin partea superioară a oalei cu termit, permițînd pătrunderea în formă mai întîi a zgurei (Al_2O_3) și după aceea a metalului lichid. În acest fel piesele de sudat nu vin în contact direct cu metalul topit, ci cu zgura. În felul acesta, metalul topit cedează căldura pentru încălzirea capetelor pieselor de sudat pînă la starea plastică, după care are loc sudarea prin presiune.

Sudarea cu termit se aplică la țevi, bare, șine de cale ferată, cilindri de laminoare etc.

Avantajul principal al procedeului de sudare cu termit constă în viteza de răcire lentă a întregii mase a cusăturii din piese, fapt ce determină tensiuni reziduale minime.

2. Tehnologia sudării prin presiune a diferitelor metale și aliaje metalice

Sudarea prin presiune poate fi aplicată, cu rare excepții, tuturor metalelor și aliajelor. Comportarea la sudare prin presiune a diferitelor metale depinde de structura, compoziția chimică, modul de încălzire și de răcire a pieselor, de dilatare și contractare.

În majoritatea cazurilor, obținerea unei suduri prin presiune necesită obținerea unei concentrări mari de căldură în anumite locuri. Realizarea acestei cerințe este condiționată de conductibilitatea termică și electrică a materialelor metalice sudate. În cazul procedeelor care se bazează pe căldura degajată prin efectul Joule, un rol important îl joacă conductibilitatea electrică a metalelor. Întrucît căldura degajată în unitatea de volum este invers proporțională cu conductibilitatea electrică, rezultă că la sudarea metalelor cu conductibilitatea electrică mare sînt necesare densități mari de curent electric. Concentrarea de căldură este favorizată și de faptul că creșterea temperaturii duce la micșorarea conductibilității electrice.

Calitatea sudurii depinde în mare măsură și de realizarea unei anumite deformări plastice a metalului, dependentă de mărimea intervalului de temperaturi în care metalul devine plastic. Aceasta înseamnă că la metale cu interval plastic îngust trebuie să se respecte riguros parametrii optimi de lucru.

Coeficientul mare de dilatare a metalelor creează dificultăți la sudare datorită deformațiilor mari care apar la încălziri și la răciri. Din această cauză, pe lîngă formele constructive cele mai adecvate, se vor folosi regimuri dure de sudare.

În cazul procedeelor de sudare electrică prin presiune se obține o creștere locală și puternică a temperaturii, fapt ce contribuie la desfășurarea mai rapidă a proceselor de difuziune.

a. **Sudarea oțelurilor.** Oțelurile cu conținut scăzut de carbon se sudează ușor prin presiune la cald întrucît: au un interval larg de temperaturi în domeniul plastic, sînt puțin sensibile față de vitezele mari de încălzire sau de răcire, nu conțin elemente care dau oxizi greu fuzibili și au o rezistență electrică specifică relativ ridicată, fapt ce favorizează încălzirea prin efectul Joule.

Odată cu creșterea conținutului de carbon și cu introducerea unor elemente de aliere are loc creșterea rezistenței la deformare plastică, deci sînt necesare compresiuni specifice mai mari pentru realizarea unei anumite deformații plastice. Totodată, se reduce viteza de încălzire și de răcire, astfel că se impune folosirea unor regimuri mai puțin dure. Pe de altă parte, conținutul mărit de carbon favorizează condițiile de formare a unui strat de metal lichid, cu efecte pozitive asupra calității îmbinărilor sudate. De asemenea, conținutul ridicat de carbon, la procedeele de sudare prin presiune, la care aerul pătrunde în zona încălzită, micșorează pericolul de formarea oxizilor care se elimină greu.

La sudarea prin presiune a oțelurilor austenitice crom-nichel se va ține seama de următorii factori: rezistența sporită la deformare plastică, deci compresiuni specifice la refulări mai mari; rezistența electrică specifică mare și conductibilitatea termică redusă favorizează o încălzire rapidă; posibilitatea apariției oxizilor greu fuzibili, fapt ce impune realizarea unei topiri cît mai stabile și cu viteză mare. Și refularea se execută tot cu o viteză mare.

În cazul oțelurilor aliate cu crom, folosite la confecționarea țevilor, se va utiliza un regim cu scurtare la topire și cu scurtare la refulare la valori maxime sau chiar mărite. Aceste oțeluri au o conductibilitate termică redusă fapt ce ușurează sudarea lor în puncte. În același timp oțelurile aliate cu crom au tendința spre călire și sensibilitate mare față de crestături cînd se prezintă cu grăunți mari.

Oțelurile-nichel se sudează bine sub presiune la cald, însă la sudarea în capete necesită folosirea unei compresiuni specifice la refulare mai mare decît la oțeluri mari de carbon. Timpul de sudare trebuie să fie cît mai mic posibil.

b. **Sudarea aluminiului și aliajelor sale.** Aluminiul avînd o conductibilitate electrică mare determină folosirea unor densități mari de curent, iar conductibilitatea termică ridicată impune folosirea unor regimuri dure, caracterizate prin curenți mari și timpi reduși de sudare.

Coeficientul de dilatare termică ridicat la aluminiu și la aliajele sale constituie o premiză pentru apariția unor deformații însemnate datorită sudării. Pentru a limita acest efect nefavorabil, se folosesc regimuri dure de sudare, astfel încît să se micșoreze pe cît este posibil căldura introdusă în piesele de sudat.

Aliajele aluminiului care au rezistență mecanică ridicată prezintă o contracție mare la solidificare și tendință spre fisurare la cald. Acest lucru impune comprimarea puternică a zonei influențate termic astfel încît să se evite formarea fisurilor.

La sudarea prin puncte a aluminiului și a aliajelor sale se folosesc densități de curent mari de 1 000—1 500 A/mm² și timpi de sudare cuprinși între 0,15 și 0,4 s.

În ceea ce privește compresiunea specifică, aceasta trebuie să fie de 15—22 bar în cazul tablelor sub 1,5 mm grosime. La table mai groase de 1,5 mm se folosește o etapă ulterioară de presare în cursul cărora forța de apăsare pe electrozi se mărește de 2—4 ori față de cea aplicată în timpul sudării.

Calitatea bună și uniformă a punctelor sudate se obține dacă operația de pregătire este efectuată corespunzător și care cuprinde: îndepărtarea grăsimilor, uleiurilor, murdăriei cu ajutorul unor solvenți (acetonă, benzină etc.) și înlăturarea stratului de oxizi prin mijloace mecanice (perii metalice, benzi abrazive fine).

Sudarea aluminiului în linie se realizează în aceleași condiții ca și sudarea în puncte, cu deosebirea că curenții și forțele de presare ale rolelor-electrozi sînt mai mari pentru aceeași grosime de tablă. Rezultate bune se obțin în cazul în care mișcarea rolelor este intermitentă, iar curentul este executat în momentele în care rolele nu se deplasează. Se folosesc role cu diametrul de 150 pînă la 250 mm, cu raza de rotunjire de 25 pînă la 250 mm, iar lățimea rolelor în zona de contact de 10—25 mm. Rolele necesită o răcire intensă și o curățire după 3—5 rot.

Viteza de sudare este mai mică decît în cazul oțelului moale. Sudarea aliajelor se execută cu topire intermediară. În perioada de contact densitatea de curent este de 150 A/mm². Pentru a se evita o oxidare excesivă, se face o topire intensă și stabilă.

c. **Sudarea cuprului și aliajelor sale.** Cuprul este un metal care se sudează greu cu procedee electrice prin presiune datorită conductibilității termice și electrice ridicate.

În cazul sudării în puncte sau în linie, o cusătură de calitate se poate obține numai la aliajele care au o conductibilitate electrică mai mică cu circa 25% față de conductibilitatea cuprului pur.

Cuprul se sudează cu densități de curent mai mari decît în cazul oțelului moale și într-un timp scurt pentru a se folosi efectul favorabil al rezistenței de contact. Presiunea pe electrozi trebuie să fie mai mică decît la oțelul moale.

Rezultate bune se obțin la sudarea cu topire intermediară, prin alegerea potrivită a parametrilor de lucru. Topirea de scurtă durată și refularea pronunțată și cu viteze mari este favorabilă unei suduri de calitate și al micșorării pierderilor de elemente de aliere ușor fuzibile (Zn, Pb).

Cuprul se sudează bine cu oțelul, însă scurtarea la topire a piesei din oțel este mult mai mare decît la piesa din cupru. De aceea, este necesar ca lungimea liberă pentru oțel să fie de circa 3,5 ori diametrul piesei, iar la cupru de circa 1,5 ori diametrul piesei.

Alamele α cu un conținut de Zn mai mare de 40% au proprietăți mecanice ale sudurii indentice cu cele ale materialului de bază. La alame $\alpha + \beta$, viteza mare de răcire determină creșterea durității grăunților, de aceea ele se supun unei recoaceri la 600—650°C.

Capitolul 29

DEBITAREA MATERIALELOR METALICE

1. Debitarea cu flacără de gaz și oxigen

Debitarea cu flacără de gaz și oxigen este un proces fizico-chimic de prelucrare aplicat în special oțelurilor moi. Pentru realizarea debitării, metalul la locul de început de debitare se aduce în prealabil la temperatura de aprindere, respectiv de ardere, după care se proiectează un jet de oxigen care produce în adîncime arderea puternică a metalului; oxizii metalici (lichizi) formați sînt proiectați în exterior de jetul de oxigen și astfel rezultă o tăietură lipsită de margini topite.

Debitarea cu flacără de gaz și oxigen este un procedeu larg folosit în practica industrială, avînd la bază fenomenul de ardere a fierului într-un jet de oxigen pur după reacția:

$$3Fe + 2O_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + Q. \qquad (29.1)$$

Pentru ca procesul de debitare să decurgă fără întrerupere, este necesar ca materialul metalic supus prelucrării să îndeplinească următoarele condiții:

— temperatura de ardere a metalului să fie mai joasă decît temperatura lui de topire;

— temperatura de topire a oxizilor formați să fie inferioară temperaturii de topire a materialului prelucrat, pentru ca să permită eliminarea lui ușoară;

— oxizii rezultați la debitare să fie cît mai fluizi, pentru ca să fie ușor îndepărtați cu jetul suplimentar de oxigen;

— căldura degajată prin arderea metalului să fie cît mai mare pentru a se compensa pierderile de căldură care au loc în timpul debitării;

— conductivitatea termică a materialului prelucrat să fie cît mai mică pentru ca zona în care acționează jetul de oxigen să nu se răcească prea repede și zgura să fie eliminată ușor;

— materialul supus debitării să fie lipsit de sufluri, crăpături, incluziuni etc. care ar împiedica propagarea lină a jetului de oxigen.

Aceste condiții sînt îndeplinite de *oțelul moale* întrucît are temperatura de topire de peste 1480°C, iar temperatura de ardere în oxigen este de circa 1150°C; zgura rezultată la debitare este fluidă astfel că poate fi ușor îndepărtată de jetul de oxigen suplimentar.

Oțelurile cu conținutul de carbon mărit și oțelurile aliate satisfac numai parțial condițiile enunțate mai sus, în plus prezintă și pericolul formării unor zone dure predispuse la fisurare.

Debitarea oțelurilor cu conținutul mărit de carbon devine mai dificilă întrucît descrește temperatura de topire iar temperatura de ardere în oxigen crește. La un conținut de carbon de 0,9% temperatura de topire și temperatura de aprindere sînt egale, adică la circa 1300°C. La fonta cu un conținut de carbon de 2,5% temperatura de topire este de 1350°C, iar temperatura de aprindere în oxigen de aproximativ 1400°C.

După tăiere, piesele sînt răcite în spații lipsite de curenți de aer, iar dacă s-a aplicat o preîncălzire la temperaturi mai ridicate atunci sînt răcite în cuptor.

Oțelurile mediu și înalt aliate se preîncălzesc pentru a se evita pericolul de fisurare și datorită temperaturilor înalte de topire ale oxizilor formați.

Influența diferitelor elemente de aliere asupra debitării se manifestă după cum urmează:

— oțelurile cu pînă la 10% Cr se debitează cu aplicarea preîncălzirii;

— oțelurile cu conținut pînă la 9% Ni se debitează bine obișnuit;

— oțelurile cu pînă la 4% Si se debitează cu preîncălzire dacă au coeficientul de carbon sub 0,2%;

— oțelurile cu pînă la 12% Mn se debitează bine după preîncălzire.

Oțelurile înalt aliate cu Cr, Ni, Co, W etc., fonta și metalele neferoase prezintă dificultăți la debitare cu flacără și oxigen, deoarece au temperaturi de aprindere superioare temperaturilor de topire ale materialelor. Metalele neferoase (Al și Cu) și aliajele acestora mai au și conductibilitate termică ridicată, fapt ce îngreuiază mult debitarea și îndepărtarea oxizilor rezultați.

Gazele combustibile frecvent folosite la debitare sînt *acetilena* și *gazele naturale*. Pentru preîncălzire se folosește o flacără oxiacetilenică în cazul oțelurilor moi și cu grosimi de circa 20 mm; în cazul tablelor groase peste 50 mm, preîncălzirea se execută mai bine cu flacără de gaze naturale care evită topirea muchiilor.

Oxigenul întrebuințat la debitarea materialelor metalice trebuie să aibă o puritate de peste 99,5%. O deosebită importanță prezintă puritatea oxigenului la debitarea tablelor subțiri de 2—4 mm grosime și a tablelor groase peste 200 mm.

a. **Arzătoare pentru debitări cu flacără de gaz.** Arzătoarele pentru debitare cu flacără de gaz și oxigen a materialelor metalice se montează, ca și cele pentru sudare, în mînerul aparatului de debitare. Capul de tăiere al arzătorului este prevăzut cu două becuri, unul care conduce amestecul de gaz combustibil-oxigen (bec de încălzire) și al doilea care conduce oxigenul de debitare (bec de tăiere).

În figura 29.1 sînt reprezentate diferite amplasări de becuri, și anume:

— cu două becuri separate (fig. 29.1,*a*), unul pentru amestecul de gaz și oxigen și al doilea pentru oxigenul de debitare;

— cu două becuri în trepte (fig. 29.1,*b*), avînd construcția aproximativ aceeași ca în figura precedentă;

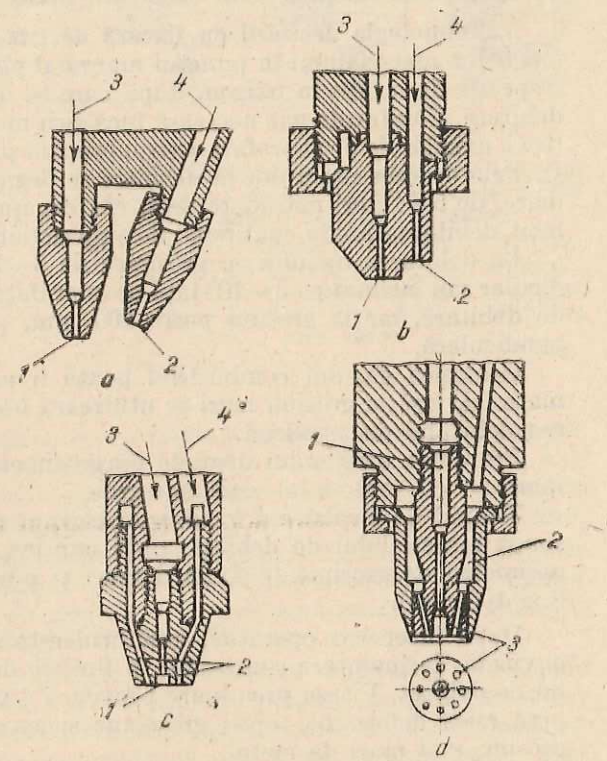


Fig. 29.1. Suflaiuri de tăiere:
a — cu două becuri separate; *b* — cu două becuri în trepte; *1* — bec pentru oxigen (de tăiere); *2* — bec pentru amestec de combustibil și gaz (de încălzire); *3* — intrare oxigen; *4* — intrarea amestec gaz-oxigen; *c* — cu becuri concentrice; *1* — bec de tăiere; *2* — bec de încălzire; *3* — oxigen de tăiere; *4* — amestec gaz-oxigen; *d* — cu becuri monobloc: *1* — oxigen de tăiere; *2* — amestec de gaz-oxigen; *3* — opt găuri.

— cu becuri concentrice (fig. 29.1,*c*), unde becul central pentru oxigen este înconjurat de becul exterior pentru amestecul gaz-oxigen;

— cu becuri monobloc (fig. 29.1,*d*), la care becul central pentru oxigen este înconjurat de 4—8 găuri, pentru amestecul gaz-oxigen, distribuite uniform în jurul becului central.

Arzătoarele cu becuri separate și în trepte (fig. 29.1,*a* și *b*) au un singur sens de debitare, în timp ce arzătoarele cu becurile din figura 29.1,*c* și *d* pot executa operații de debitare în orice direcție și sens.

În afara acestor tipuri obișnuite, se mai execută arzătoare pentru diferite destinații, și anume: arzătoare pentru debitarea țevilor fierbătoare, arzătoare pentru debitarea capetelor de nituri, arzătoare pentru scobire etc.

Pentru debitarea tablelor cu grosimi de 0,5—3 mm se folosesc arzătoare cu becuri separate (v. fig. 29.1,*a*) care asigură debitarea cu zone de încălzire înguste și arzătoare cu becuri monobloc (v. fig. 29.1,*d*). Tablele cu grosimi peste 3 mm, în principiu, pot fi debitate cu orice tip de arzător, cel mai frecvent folosit fiind cel cu becuri concentrice. Arzătoarele cu becurile concentrice sînt folosite în special cînd este necesară o încălzire puternică.

b. **Tehnologia debitării cu flacără de gaz și oxigen.** Debitarea începe cu încălzirea materialului în punctul marginal pînă la temperatura de aprindere, respectiv de ardere în oxigen, după care se deschide robinetul oxigenului de debitare. Flacăra de gaz necesară încălzirii metalului mai are și rolul de curățire a oxizilor de pe suprafața piesei, precum și de protecție a jetului de oxigen.

Prin arderea oțelurilor la debitare se degajă o cantitate de căldură foarte mare, de 5—10 ori mai mare decît cea degajată de flacăra de încălzire, astfel încît debitarea poate continua cît timp acționează jetul de oxigen.

La debitarea oțelului cu grosimea de 5—100 mm, becul poate fi perpendicular sau înclinat cu 5—10° față de suprafața metalului în sens opus sensului de debitare, iar la grosimi peste 100 mm, poziția becului este numai perpendiculară.

Grosimea gazului combustibil poate fi aceeași pentru orice grosime de material, însă la grosimi mari se utilizează becuri mai mici care permit mărirea debitului de acetilenă.

Presiunea oxigenului depinde de grosimea materialului fiind cu atît mai mare cu cît materialul este mai gros.

Timpul de încălzire a locului de început de debitare este funcție de grosimea materialului de debitat, fiind cuprins între o secundă pentru fiecare milimetru de grosime (pînă la 6 mm) și pînă la 1/4 *s* (pentru grosimi între 6 și 100 mm).

După începerea operației, arzătorul este condus pe linia de debitare cu o viteză de înaintare constantă, în funcție de natura și grosimea materialului de debitat. Viteza prea mare provoacă o întîrziere a striurilor, iar viteza prea mică determină topiri grosolane și smulgeri de material, în special la grosimi mai mari de metal.

Viteza de debitare pentru o anumită grosime depinde de debitul și puritatea oxigenului, de debitul amestecului de încălzire, de natura materialului metalic debitat și de gradul de mecanizare a operației.

La debitarea oțelurilor prin ardere cu jet de oxigen, oxidul format își menține fluiditatea și odată cu îndepărtarea acestuia se obține un interstițiu cu suprafețe debitate, a căror rugozitate este comparabilă cu suprafețele realizate prin prelucrare mecanică (fig. 29.2). Din figură se observă că la debitarea corectă rugozitatea suprafețelor este comparabilă cu suprafețele strunjite fin.

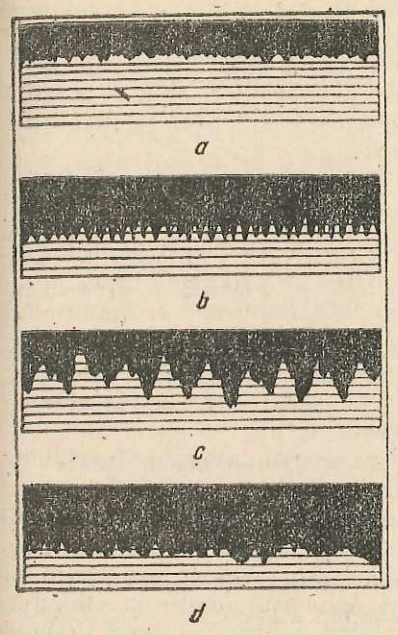


Fig. 29.2. Rugozitatea suprafeței unui oțel OL 50 prelucrată mecanic, în comparație cu tăierea cu flacără de gaz:

a — rectificat; *b* — strunjire fină; *c* — strunjire de eboșare; *d* — tăiere cu flacără (mărirea rugozității X 200; o diviziune = 0,01 mm; mărirea în lungime 1 : 20).

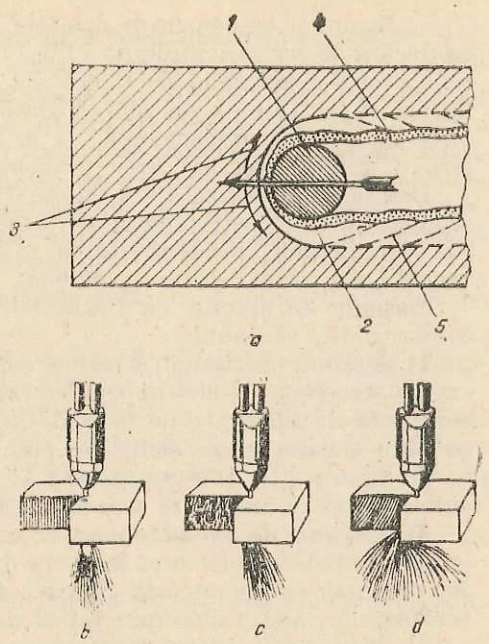


Fig. 29.3. Modul de formare a tăierii cu jetul de oxigen și efectul vitezei de tăiere asupra rugozității suprafețelor tăiate:

a — formarea tăieturii: *1* — jetul de oxigen; *2* — sensul de tăiere; *3* — sensul de deplasare a zgurii; *4* — zgura formată; *b* — viteza corectă; *c* — viteza prea mică; *d* — viteza prea mare.

Lățimea depinde de distanța *e* dintre tablă și arzător, care, la rîndul său, este funcție de grosimea tablelor debitate. Astfel la debitarea cu flacără oxiacetilenică, în cazul tablelor de 3—50 mm grosime, $e = 2...5$ mm, la tablele de 50—150 mm, $e = 5...6{,}5$ mm, iar la grosimi mai mari $e = 6{,}5...10$ mm.

În figura 29.3 este reprezentat, într-o secțiune perpendiculară pe jetul de oxigen, modul de formare a tăieturii *a* precum și secțiunile obținute funcție de viteza de tăiere: corectă *b* cu crestături drepte, prea mică *c* cu topituri și prea mare *d* cu curbarea crestăturii în 1/2 s.

În straturile învecinate cu suprafața de tăiere apar modificări care depind de acțiunea termică și chimică a procesului de debitare asupra metalului. Principalele modificări se referă la structură și duritate. Astfel, la tabla de oțel de 150—200 mm grosime, cu conținut scăzut de carbon, apare zona influențată termic de circa 3—5 mm, iar la oțeluri cu conținutul de carbon mai ridicat, la grosimea tablelor de circa 100 mm ZIT, este de pînă la 6 mm. Modificarea structurii se manifestă în principal prin călirea muchiei debitoare, fiind însoțită de creșterea durității metalului în această zonă.

În unele cazuri, pentru mărirea productivității debitării tablelor cu grosimi între 2 și 10 mm se folosește sistemul de debitare în pachet prin așezarea tablelor una peste alta și fixarea lor cu ajutorul unor cleme cu șurub sau cu dispozitive speciale.

c. Mașini și tehnologia de debitare cu flacără de gaz. Mașinile de debitare cu flacără de gaz se consideră ca fiind mașini-unelte la care operația se execută cu ajutorul arzătorului de tăiere. La debitarea mecanizată și automatizată, flacăra și jetul de oxigen sînt dirijate cu ajutorul mașinilor, ceea ce asigură piese cu precizie dimensională și calitate superioară a suprafeței debitate, fără a mai fi necesară vreo prelucrare ulterioară.

Debitarea mecanizată sau automată cu flacără de gaz și oxigen este foarte economică, fiind determinată de următorii factori: consumurile de oxigen și gaz combustibil, productivitatea instalațiilor, numărul de arzătoare care execută simultan debitarea pieselor, cota de amortizare a investițiilor etc.

Mașinile de debitat cu flacără de gaz și oxigen prezintă o diversitate constructivă, și anume:

1) *Mașinile de debitat portative* constituite dintr-un cărucior antrenat de un motor electric care imprimă arzătorului montat pe cărucior o viteză constantă de înaintare pe linia de debitare; cărucior este condus manual pe linia trasată în prealabil pe piesa prelucrată.

În figura 29.4 este reprezentată schema cinematică a mecanismului de antrenare și de înaintare a unei mașini portative.

2) *Mașinile de debitat staționare* care pot executa debitări de orice profil (curbe, drepte, cercuri) după șabloane din tablă de oțel folosindu-se în acest scop cap magnetic cu role. Acesta vine în contact cu marginile șablonului imprimînd arzătoarelor, aflate deasupra tablei de debitat, un contur identic cu șablonul.

3) *Mașinile de debitat prevăzute cu mese de lucru*, pe care se așază desenul piesei de debitat, iar operația se realizează cu ajutorul unor optoscoape (la conducerea manuală a debitării) sau fotoscoape (la comanda automată) care testează marginea sau mijlocul unei trasări. Mișcarea se transmite unui braț mobil transversal prevăzut cu unul sau mai multe arzătoare montate pe un cărucior cu mers longitudinal și care execută debitarea.

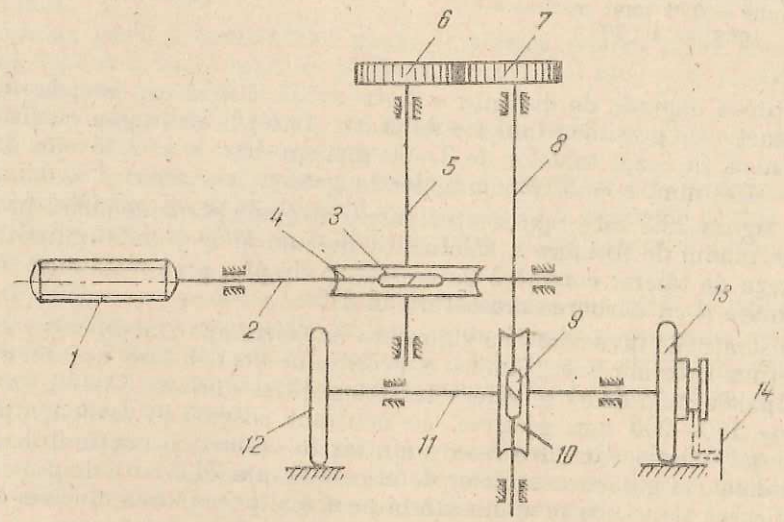


Fig. 29.4. Schema cinematică a mecanismului de antrenare și tăiere a mașinii portative:
1 — motor electric; *2* — ax; *3* — șurub elicoidal; *4* — roată melcată; *5* — axul roții melcate; *6* și *7* — roți dințate; *8* — ax; *9* — șurub elicoidal; *10* — roată melcată; *11* — ax de antrenare; *12* — roată de antrenare; *13* — roată de ghidaj; *14* — ghidaj.

d. Debitarea cu pulberi metalice. Oțelurile înalt aliate cu Cr, Ni, Co etc. (feritice, austenitice) și oțelurile care conțin elemente de aliere greu fuzibile sau care formează zgura greu fuzibilă, cum sînt Mo, W etc., debitarea cu flacără oxiacetilenică de gaze și oxigen este foarte dificilă. De aceea, pentru aceste oțeluri se folosește un procedeu special de debitare, cu pulbere metalică, care constă în arderea aceste pulberi în jetul de oxigen. Prin arderea pulberii se degajă o cantitate suplimentară de căldură care topește oxizii greu fuzibili și care împreună cu oxizii de pe suprafața metalului formează o zgură cu fluiditate mare care se înlătură ușor.

Pentru îndepărtarea oxizilor din zona de debitare se aplică două metode, și anume: termochimică și mecanică.

Metoda termochimică asigură topirea peliculei de oxizi pe întreaga suprafață de contact a jetului de oxigen cu materialul debitat, prin repartizarea uniformă a pulberii în jetul de oxigen. Cele mai bune rezultate s-au obținut cu pulberi de fier de granulație fină (0,1—0,2 mm), la care se pot adăuga pulberi de aluminiu în proporție de 15%, pentru a mări cantitatea de căldură degajată. Uneori, se introduc în pulberi de fier și pulberi de carbonat de sodiu și permanganat de potasiu care, de asemenea, facilitează procesul de debitare.

Pulberea de fier pentru debitarea cu flacără oxiacetilenică trebuie să aibă următoarea compoziție chimică:

$$Fe \geqslant 98{,}5\%;\ C \leqslant 0{,}1\%;\ O_2 \leqslant 0{,}6\%;\ Si \leqslant 0{,}25\%;\ Mn \leqslant 0{,}6\%;$$
$$S \leqslant 0{,}025\%;\ P \leqslant 0{,}025\%.$$

Metoda mecanică de înlăturare a oxizilor greu fuzibili constă în acțiunea abrazivă a nisipului cuarțos sau a carbonatului de calciu antrenate în flacără. Această metodă are o utilizare restrînsă întrucît costul este mai ridicat decît în cazul folosirii pulberii de fier, productivitatea mai mică și necesită măsuri speciale de tehnică a securității muncii, deoarece provoacă îmbolnăviri de silicoză.

În figura 29.5 este reprezentată schema unei instalații de debitare cu pulberi metalice alcătuită din: butelia de oxigen *1*, butelia de acetilenă *2*, butelia de azot *3*, toate trei prevăzute cu reductoare cu manometru; rezervorul *4* cu pulbere metalică echipat cu filtru manometric de presiune, sitele și dispozitivul *5* de antrenare a pulberii; capul arzătorului *6* este de o construcție specială, fiind prevăzut cu trei orificii distincte: orificiul central pentru jetul de oxigen de debitat, orificiul pentru amestecul combustibil de preîncălzire și orificiul concentric periferic prin care se transportă pulberea metalică.

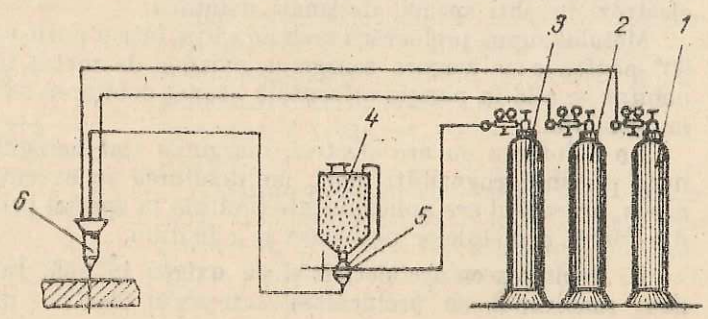


Fig. 29.5. Reprezentarea schematică a unei instalații de tăiere cu pulbere metalică.

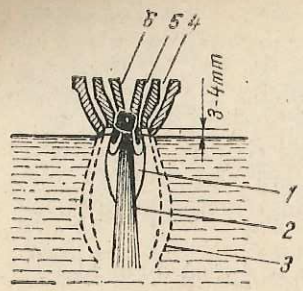


Fig. 29.6. Schema tăierii cu flacără de gaze şi oxigen în apă:
1 — flacără de preîncălzire; *2* — oxigen de tăiere; *3* — apă; *4* — intrarea aerului comprimat; *5* — intrarea amestecului de gaz şi oxigen; *6* — intrarea oxigenului; *7* — aer de protecţie.

Pulberea din rezevor este menţinută în suspensie prin vibraţie cu un sistem electromagnetic. Căldura flăcării de încălzire trebuie să fie transmisă nu numai metalului ci şi pulberii introdusă în flacără. De aceea, puterea flăcării la debitare cu pulbere metalică trebuie să fie cu aproximativ 15—20% mai mare decît la procedeul obişnuit.

Azotul este folosit pentru antrenarea pulberii metalice, iar pentru a se asigura o aceeaşi calitate a tăieturii viteza de debitare se micşorează cu aproximativ 20%.

Presiunea şi debitul oxigenului de debitare la ieşirea din arzător trebuie astfel alese încît în contact cu suprafaţa materialului de debitat în unitatea de timp să se producă reacţiile unei prelucrări optime.

e. **Debitarea cu flacără de gaze şi oxigen în apă.** Flacăra oxiacetilenică poate să ardă în apă, deoarece gazele formate împiedică pătrunderea apei în interiorul flăcării (fig. 29.6). Unele construcţii de arzătoare sînt prevăzute cu un canal suplimentar pentru introducerea aerului comprimat, în vederea protejării flăcării.

Sub apă metalul se răceşte mult mai repede, de aceea aducerea lui la incandescenţă se realizează cu o flacără de 10—15 ori mai puternică decît în cazul lucrărilor similare, executate în aer.

Pentru aprinderea flăcării, aparatele de debitare sub apă sînt prevăzute fie cu o flacără oxiacetilenică suplimentară fie cu o instalaţie de joasă tensiune pentru producerea unei scîntei.

La executarea operaţiei în apă se foloseşte acetilenă pînă la adîncimi de pînă la 10 m, pentru a nu depăşi presiuni de 1,5 bar, deoarece la depăşirea acestei presiuni lucrările devin periculoase din cauza descompunerii explozive a acetilenei. La adîncimi mai mari se foloseşte hidrogenul care nu prezintă pericol de explozie pînă la adîncimile de 30—50 mm.

2. Debitarea cu arc electric

a. **Debitarea cu arc electric cu electrozi.** În cazul acestui procedeu se foloseşte o intensitate de curent cu 50—100% mai mare decît la sudarea şi electrozi obişnuiţi. Rezultate bune se obţin cu electrozi de cărbune sau cu electrozi înveliţi special destinaţi debitării.

Metalul supus prelucrării trebuie să fie într-o poziţie înclinată cu cel puţin 60° pentru a se asigura scurgerea oxizilor de metal topit. Dacă tablele de debitat se află în poziţie orizontală atunci debitarea se începe la un capăt al materialului.

La debitarea cu arc electric, marginile sînt neregulate, suprafeţele obţinute prezintă rugozităţi mari, iar debitarea se execută cu viteze mici. De aceea, procedeul are aplicabilitate limitată în special pentru debitarea pieselor din fontă, a metalelor neferoase şi a fierului.

b. **Debitarea cu arc electric şi cu oxigen în apă.** În cazul acestui procedeu, materialul se preîncălzeşte cu arcul electric, pînă la incandescenţă

albă, iar debitarea cu oxigen (fig. 29.7). Oxigenul este adus la suprafaţa de debitat printr-un electrod tubular. Electrozii se execută din metale, cărbune, grafit sau din alte materiale speciale, avînd învelişul impregnat cu o substanţă impermeabilă.

Arcul electric se stabileşte între electrod şi metalul de tăiat, folosindu-se curentul continuu sau alternativ.

Se lucrează cu curent de 250—350 A şi cu debit de oxigen de 6—10 m³/h. Procedeul se aplică pînă la grosimi de 10 mm şi la adîncimi în apă de pînă la 100 m.

În comparaţie cu procedeul de debitare cu gaze, procedeul cu arc electric şi oxigen în apă se caracterizează printr-o productivitate mai mare şi este mai economică.

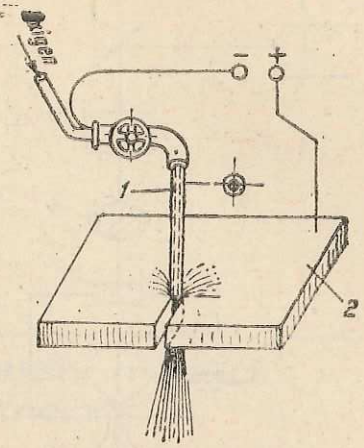


Fig. 29.7. Schema tăierii cu arc electric şi oxigen în apă:
1 — electrod tubular; *2* — metalul de tăiat.

c. **Debitarea cu plasmă.** Debitarea cu plasmă constă în încălzirea materialului pînă la topire a unui strat limită şi suflarea topiturii din interstiţiu de către jetul de gaz plasmagen.

La debitarea materialelor metalice de grosimi mici se foloseşte atît jetul cît şi arcul de plasmă. La materiale cu grosimi peste 8—10 mm, în majoritatea cazurilor, se foloseşte arcul de plasmă (fig. 29.8), întrucît acesta introduce o cantitate de căldură mai mare pe unitatea de secţiune decît jetul de plasmă de aceeaşi putere.

Parametrii tehnologici principali ai procedeului de debitare cu plasmă sînt: tensiunea arcului, curentul arcului de plasmă, natura şi debitul gazului plasmagen, viteza de lucru, forma şi dimensiunile secţiunii transversale debitării, adîncimea zonei influenţate termic.

Forma debitării depinde de viteza de lucru dacă ceilalţi parametri se menţin la valori constante, astfel că se poate determina o viteză optimă de lucru, care să asigure o lăţime egală a debitării atît în partea superioară, cît şi în cea inferioară a materialului debitat.

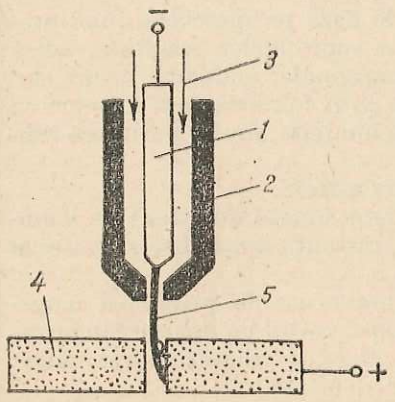


Fig. 29.8. Schema tăierii cu arc de plasmă:
1 — electrod; *2* — ajutaj; *3* — gaz plasmagen; *4* — placă; *5* — arc de plasmă.

Debitarea cu plasmă se aplică, în special, la oţeluri inoxidabile cu grosimi pînă la 100 mm, la aluminiu şi aliajele sale cu grosimi pînă la 125 mm, la cupru, magneziu şi aliajele lor etc.

De asemenea, se poate folosi şi la oţelul carbon (cu grosimi pînă la 25 mm), cînd, în locul gazului inert, se foloseşte oxigenul sau aerul, asigurîndu-se astfel o cantitate suplimentară de căldură, datorită reacţiilor exoterme şi deci se reduce consumul de energie.

Debitarea cu plasmă asigură o lăţime mică a debitării (circa 5 mm la oţeluri cu grosime de 25 mm), suprafaţa obţinută este foarte netedă şi curată, lipsită de bavuri. Operaţia se execută manual sau meca-

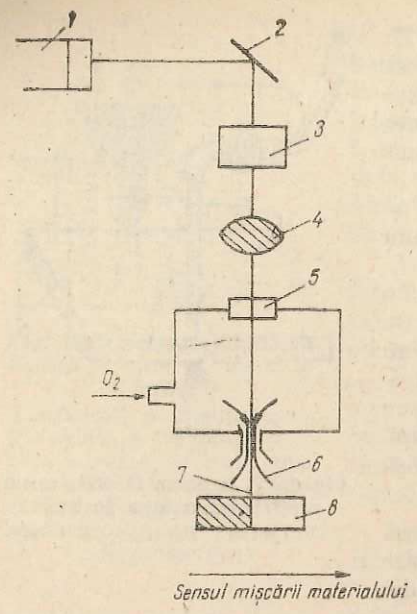


Fig. 29.9. Schema tăierii cu laser și cu jet de oxigen:
1 — laser; *2* — oglindă înclinată la 45°; *3* — obturator de siguranță; *4* — lentilă de focalizare; *5* — fereastră transparentă; *6* — jet de oxigen; *7* — punct focal; *8* — tablă tăiată.

nizat cu viteze mari de lucru, de 250—1250 mm/min, cînd se formează o zonă influențată termic de circa 1 mm și o precizie a debitării de ± 1,5 mm.

d. **Debitarea cu laser.** La debitare se folosesc lasere cu regimuri continue obținute de obicei la lasere cu CO_2 sau cu impulsuri de înaltă frecvență, parțial suprapuse, de exemplu la lasere cu He — Ne.

Debitarea cu laser se realizează în condiții economice la anumite grosimi ale materialului, în funcție de caracteristicile termofizice ale acestuia. Astfel, oțelul aliat se debitează pînă la 0,2 mm, materialele plastice pînă la 25 mm și sticla pînă la 1 mm. Pentru grosimi mai mari ale materialelor și pentru a facilita îndepărtarea produselor rezultate se folosesc lasere cu jet de oxigen (fig. 29.9). La marginea focarului există un gradient termic mare care permite ca reacțiile ce au loc între oxigen și metalul încălzit să se producă pe o zonă mai îngustă decît secțiunea jetului de oxigen. Ca urmare, lățimea debitării nu depășește mai mult de 4/3 din diametrul focarului.

La alegerea regimului de lucru cu laser se ține seama de faptul că viteza de debitare variază invers proporțional cu grosimea materialului.

3. Calitatea. Defectele de debitare

Calitatea debitărilor executate cu flacără de gaze se apreciază după precizia de debitare și după gradul de finisare a suprafețelor rezultate, adică lipsite de crestături, neuniformități, defecte marginale, ondulații, fisuri etc.

Calitatea superioară a suprafeței se obține prin folosirea arzătoarelor cu becuri corespunzătoare, viteze de înaintare în anumite limite, puritatea ridicată a oxigenului etc.

Principalele defecte de debitare se pot grupa astfel:

a) *Defecte pe margini.* Topirea marginilor determinată de viteza de înaintare prea mică sau de o flacără prea puternică, distanța dintre bec și material prea mică sau prea mare.

b) *Defecte pe suprafața debitării.* Golurile provocate de presiunea oxigenului prea mare sau distanța bec-presă prea mare; rostul de debitare îngustat sau lărgit datorită vitezei de înaintare prea mare și respectiv prea mică; ondulații, abaterea unghiulară a suprafețelor debitate.

c) *Crestături.* Aceste defecte pot fi determinate de viteza de înaintare prea mare, presiunea jetului de oxigen mică etc.

Alte defecte care pot apărea sînt: ondulații în sensul de înaintare) viteza de înaintare prea mare), întreruperi în procesul de debitare, zgura aderentă și fisuri.

IV.

Tehnologia turnării materialelor metalice și a executării formelor

Capitolul 30

PROPRIETĂȚILE DE TURNARE ALE METALELOR ȘI ALIAJELOR METALICE

1. Generalități

Topirea și turnarea metalelor și aliajelor metalice în forme constituie un proces tehnologic destinat obținerii pieselor turnate cu forme, dimensiuni și utilizări diferite. Din datele statistice rezultă că piesele turnate reprezintă în medie 40—55% din masa mașinilor și utilajelor industriale și 30—45% din costul acestora.

În țara noastră producția de piese turnate a cunoscut în ultimii 20 de ani o continuă dezvoltare, într-un ritm mediu anual de circa 9%, depășind, în anul 1977, 1,5 milioane de tone. Această producție s-a realizat în proporție de 60% pe linii mecanizate și automatizate.

Dezvoltarea pe care a căpătat-o turnarea pieselor metalice se explică prin următoarele avantaje ale procedeului:

— permite obținerea unor piese cu configurații complexe;

— permite executarea unor piese care nu necesită prelucrări mecanice ulterioare sau necesită un volum mic de prelucrări;

— asigură un cost mai redus al pieselor turnate în raport cu cel al pieselor realizate prin alte procedee de prelucrare, în special la producția în serie sau în masă;

— nu necesită instalații industriale complexe și costisitoare.

Dezavantajul principal care limitează extinderea turnării este dificultatea obținerii pieselor turnate cu caracteristici mecanice comparabile cu cele ale pieselor obținute prin deformare plastică.

Principalele operații legate de executarea pieselor turnate sînt: executarea modelelor, formelor și a miezurilor, topirea și elaborarea metalului și aliajului, turnarea metalului pentru umplerea cavității formei, solidificarea și răcirea metalului sau aliajului în formă. Dintre operațiile auxiliare din turnătorie fac parte: pregătirea materialelor pentru executarea formelor și a miezurilor, pregătirea materialelor de încărcare pentru topire, curățirea pieselor turnate, tăierea rețelelor de turnare, a bavurilor și a maselotelor și tratamentul termic al pieselor turnate.

Se deosebesc două feluri principale de turnare: în lingouri și în piese. Lingourile sînt semifabricate de forme simple, destinate prelucrării prin deformare plastică (laminare, forjare, presare etc.) sau retopirii (lingouri mici numite blocuri) pentru elaborarea de aliaje. Piesele turnate nu mai sînt supuse

ulterior unor modificări esențiale ale formei și dimensiunii lor, cu prelucrării prin așchiere.

De asemenea, există producții specializate de produse turnate țevilor, turnarea cilindrilor de laminare, turnarea roților de vagoa

Turnarea lingourilor se execută în forme metalice numite lir se folosește turnarea continuă sau semicontinuă.

Piesele pot fi turnate în forme temporare folosite la o sin (forme executate din nisip și argilă, forme-coji etc.), în form nente care servesc la un număr limitat de turnări fiind reparat turnare, în forme permanente numite cochilii, care folosesc la fără a trebui să fie reparate. Fiecare din aceste procedee prez și dezavantajele sale care vor fi analizate în continuare.

2. Proprietățile tehnologice pentru tur

a. **Tensiunea superficială.** Forța cu care metalul s să-și micșoreze suprafața se numește *tensiune superficia* lichid are o anumită tensiune superficială care depin compoziția chimică a metalului sau aliajului respe din metale și aliaje lichide și pelicule de oxizi ai m superficială. În schimb unele adaosuri de elemente ficială a metalului de bază, de exemplu, cuprul și s reduc tensiunea superficială a acestuia.

Ridicarea temperaturii metalului sau aliajul tensiunii superficiale datorită micșorării forței atomii din interior și din stratul superficial.

Tensiunea superficială a metalelor și aliajel în procesul de turnare, fiind în strînsă legătur în pereții formei, prin canalele capilare, cons formare.

b. **Viscozitatea și fluiditatea.** *Viscozitatea* metalul lichid față de deplasarea unuia din st strat vecin. Ea influențează curgerea meta gradul de umplere a formei, ridicarea la supr timpul solidificării.

Creșterea temperaturii determină omo lichid și deci micșorarea viscozității. În cee metalele pure precum și aliajele eutectice aliajele.

Mărirea viscozității metalului provoacă unitatea de timp, îndeosebi în cazul pie micșorează capacitatea de ridicare la sup a gazelor.

Fluiditatea metalului lichid est totalitatea proprietăților fizico-chimice ca aliajului în stare lichidă.

În procesul de turnare, fluiditatea m acestuia de a umple toate detaliile cavi

Fluiditatea depinde în principal de p ea este cu atît mai mare cu cît sînt mai

u cît este mai mică oxidarea și cu cît metalul conține mai puțini

a se mări fluiditatea metalelor și aliajelor, care cristalizează într-un temperaturi, acestea se supraîncălzesc cu 50—100°C peste tempe-opire.

ea metalelor și aliajelor lichide este micșorată de impuritățile și suspensie nedizolvate în aliajul lichid și de gazele care se degajă hidă.

3. Solidificarea pieselor turnate

cristalină a pieselor turnate. Solidificarea și structura crista-ate sînt influențate, în principal, de: proprietățile metalului ățile și condițiile de turnare.

olidifică cu o structură dendritică columnară, iar alia-ndritică echiaxială.

ale și aliaje împiedică creșterea normală și alimen-n urmare, nu permit obținerea unei structuri com-

mperatura și viteza de turnare, metoda de umplere răcire etc.) influențează într-o măsură însemnată talină a piesei turnate. Astfel, o viteză mică de nei structuri compacte; temperatura joasă de unei structuri fine; la o viteză de răcire mică echiaxială grosieră, iar la o viteză de răcire ă și compactă.

e. Majoritatea metalelor și aliajelor metalice nului, adică se contractă. Contracția aliajelor

e reducerea volumului aliajului de la tempe-ratura obișnuită, adică:

$$\frac{V_{tur} - V_{sol}}{V_{sol}} 100\%, \qquad (30.1)$$

aliajului;
nperatura de turnare;
nperatura de solidificare.
reprezintă reducerea dimensiunilor liniare eratura de turnare pînă la temperatura

$$\frac{l - l_0}{l_0} 100\%, \qquad (30.2)$$

area piesei;

Pentru compensarea contracției liniare, dimensiunile formei se iau mai mari decît cele ale piesei turnate în stare rece, cu valoarea contracției aliajului turnat.

Solidificarea aliajelor în formă este însoțită de contracția volumică și liniară care determină apariția în piesele turnate a unor micro- și macroretasuri. Pentru a se evita formarea retasurilor se toarnă în formă o cantitate suplimentară de aliaj sau se prevăd maselote (alimentatoare). Aliajul din maselotă trebuie să pătrundă continuu în piesa turnată; de aceea solidificarea piesei trebuie să aibă loc spre maselotă.

c. **Retasura în piesele turnate.** Pentru realizarea solidificării unui aliaj este necesar ca aliajul să fie răcit permanent. Cu privire la caracterul solidificării există două ipoteze. Potrivit primei ipoteze solidificarea aliajului turnat în cavitatea formei poate începe din cîteva centre care se formează spontan sau simultan și care cresc în tot volumul aliajului și se termină prin îmbinarea cristalelor după creșterea lor.

Conform celei de a doua ipoteze, care corespunde mai bine observațiilor practice, solidificarea poate avea loc succesiv și dirijat cînd în piesa turnată procesul începe de la suprafața de contact a aliajului cu forma și continuă succesiv de la periferie spre centrul piesei. În centrul piesei volumele de aliaj care s-au solidificat din diferite părți se îmbină sau se poate forma un gol numit *retasură*, dacă nu există suficient metal lichid, pentru a compensa contracția (fig. 30.1).

Aliajul lichid, introdus în cavitatea formei, venind în contact cu pereții formei, formează o crustă de cristalite mici „echiaxiale" după care urmează un strat de cristalite columnare. Miezul piesei turnate se compune din cristalite echiaxiale, care însă au dimensiuni mai mari decît cei din straturile exterioare.

Creșterea centrelor de cristalizare poate avea loc numai dacă căldura de supraîncălzire sau căldura latentă de cristalizare a aliajului este evacuată de pereții formei de turnare sau de stratul solidificat anterior.

Retasura formată (fig. 30.1) este concentrată la partea superioară a piesei; de aceea este numită *retasură principală*. La piesele turnate se remarcă și formarea, în afara retasurii principale, unor *retasuri secundare*, în general, sub

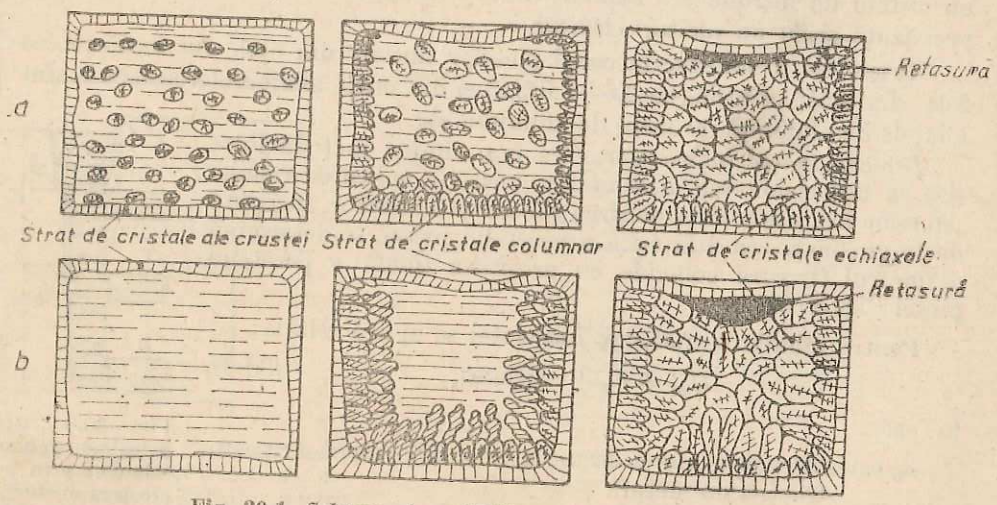


Fig. 30.1. Schema de solidificare a pieselor turnate:
a — solidificarea simultană; *b* — solidificarea succesivă.

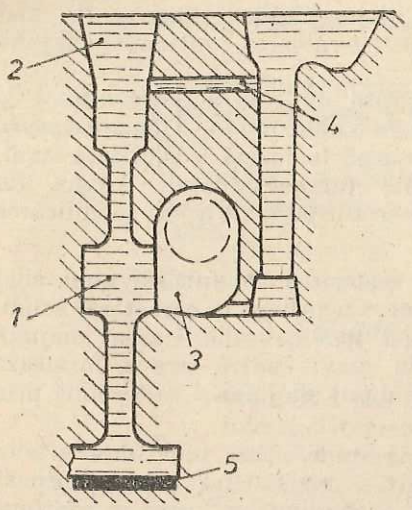


Fig. 30.2. Sistemul de alimentare a piesei turnate prin maselote.

formă de pori. Retasurile secundare se formează la aglomerările locale de aliaj numite *noduri termice*.

Volumul retasurii este proporțional cu volumul piesei turnate, coeficientul de contracție al aliajului de răcire și solidificare și temperatura de turnare.

Retasura principală poate fi prevenită cel mai ușor prin alimentarea suplimentară cu aliaj lichid în timpul solidificării piesei printr-o maselotă deschisă amplasată la partea superioară a piesei. Pentru prevenirea retasurilor secundare se asigură o alimentare suplimentară cu aliaj lichid, cu ajutorul unor maselote închise, atașate lateral, sau se prevăd răcitoare interioare sau exterioare metalice care provoacă răcirea accelerată a aliajului din nodurile termice.

Forma și volumul maselotei se determină pe baza unei condiții de bază: avînd un volum minim, maselota trebuie să asigure, în timpul solidificării părții pe care o alimentează, curgerea continuă a metalului lichid din maselotă în piesa turnată.

Pentru creșterea eficacității maselotelor și micșorarea masei lor în raport cu masa piesei turnate, se prevăd o serie de măsuri, cum ar fi: izolarea termică pentru reducerea vitezei de solidificare a aliajului din ele; utilizarea maselotelor care acționează cu suprapresiune; încălzirea aliajului în maselotă și altele.

În figura 30.2 este reprezentat sistemul de alimentare a piesei turnate *1* cu o maselotă superioară-deschisă *2*, cu o maselotă inferioară-închisă *3* și cu un sistem de introducere suplimentară a aliajului în maselota *4*. Piesa este prevăzută și cu un răcitor exterior *5*.

Maselotele se folosesc în cazul pieselor turnate din oțel, din fontă maleabilă, din fontă cenușie (cu 2,6—3,0%C) și din unele aliaje neferoase cum sînt: aliajele de aluminiu, bronzul de aluminiu etc.

Dimensionarea maselotelor. Cea mai simplă metodă folosită la dimensionarea maselotelor constă în aplicarea regulei „sferelor înscrise". Prin mărirea succesivă a sferelor, începînd de la grosimea cea mai mică a peretelui piesei, se determină diametrul D, care coincide cu grosimea finală a peretelui piesei (fig. 30.3).

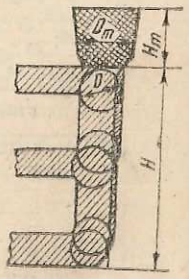


Fig. 30.3. Dimensionarea maselotelor prin aplicarea metodei „sferelor înscrise".

Pentru stabilirea înălțimii maselotei se aplică relația:

$$H_m = d_0 + \alpha D[\text{mm}], \qquad (30.3)_1$$

în care:

d_0 este diametrul sferei de metal necesar compensării contracției de metal;

α — coeficientul de formă ($\alpha = 1{,}35$ în cazul maselotelor închise și $\alpha = 0{,}85$ în cazul maselotelor deschise);

D este grosimea piesei turnate.

Diametrul D_m al maselotei se calculează cu relația:

$$D_m = d_0 + D[\text{mm}] \qquad (30.3)_2$$

4. Segregații în piesele turnate

La piesele turnate cu dimensiuni mari și cu pereți groși apare fenomenul de segregație, adică îmbogățirea locală în anumite elemente (îndeosebi sulf și fosfor) sau impurități, fapt ce determină abateri de la compoziția chimică a metalului sau aliajului turnat.

Se cunosc trei feluri de segregații: segregație dendritică, segregație după greutatea specifică și segregație zonală.

Segregația dendritică constituie diferența la compoziția chimică în interiorul cristalului, fiind rezultatul neomogenității aliajului turnat. Segregația după greutatea specifică, localizată în părțile superioare și inferioare ale piesei turnate, este determinată de diferența între greutatea specifică a aliajului solidificat și masa lichidă. Segregația zonală constituie îmbogățirea straturilor centrale ale piesei turnate în componentul ușor fuzibil și a straturilor exterioare în componentul greu fuzibil.

5. Tensiuni și deformații

După solidificare are loc răcirea treptată a piesei turnate însoțită de contracția în stare solidă. În cazul unei piese de lungime l și cu pereți de grosimi diferite $S_1 > S_2$ (fig. 30.4); viteza de răcire a celor doi pereți va

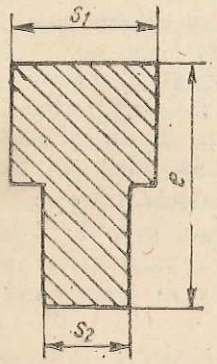


Fig. 30.4. Schema îmbinării a doi pereți de dimensiuni diferite pentru determinarea tensiunilor de solidificare.

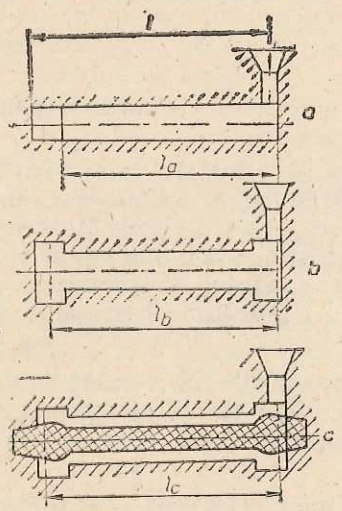


Fig. 30.5. Contracția liniară a pieselor cu diferite forme.

fi diferită întrucît masele lor sînt diferite. Peretele subțire răcindu-se mai repede va fi solicitat la întindere, iar peretele gros răcindu-se mai încet va fi supus la compresiune. Ca urmare, în piesa turnată se formează tensiuni interne ale căror valori vor fi cu atît mai ridicate cu cît viteza de răcire va fi mai mare. Prin răcire lentă se egalează temperatura dintre diferitele secțiuni ale piesei turnate.

Prin urmare, pentru obținerea unor piese fără tensiuni sau cu tensiuni interne minime, este necesar să se realizeze o solidificare rapidă, urmată de o răcire lentă a pieselor turnate pînă la temperatura obișnuită.

Deformațiile în piesele turnate se pot produce din cauza rezistenței pe care o opune forma de turnare contracției libere. Cu cît materialul formei de turnare este mai puțin compresibil cu atît va fi mai mică contracția liniară și cu atît vor fi mai mari deformațiile în piesele turnate, cauzate de contracția frînată.

În figura 30.5 este reprezentată contracția liniară a pieselor turnate în forme de aceeași lungime însă cu configurații diferite. Piesa din figura 30.5, *a* se contractă liber, la piesa din figura 30.5, *b* contracția liniară este frînată de formă, iar la piesa din figura 30.5,*c* atît de formă cît și de miez. De aceea, după răcire, piesa din figura 30.5, *a* are lungimea l_a — contracția ei liniară este maximă, piesa din figura 30.5, *c* are lungimea l_c — contracția ei liniară este minimă și piesa din figura 30.5, *b* are o lungime i... mediară l_b.

Capitolul 31

MATERIALE ȘI AMESTECURI DE FORMARE

Materialele de formare sînt utilizate la prepararea amestecurilor de formare destinate executării formelor și a miezurilor.

Materialele de formare se împart în:

— *materiale de bază*, care reprezintă constituienți principali ai amestecurilor de formare și sînt formate din nisipuri;

— *lianți pentru turnătorie*, care au rolul de a lega granulele de nisip și de a îmbunătăți proprietățile fizico-mecanice ale amestecurilor, fiind constituiți din: argilă, bentonită, melasă, dextrină etc.;

— *vopsele, pudre, cleiuri și paste pentru turnătorie*, folosite cu scopul de a împiedica aderența amestecului de formare la metalul turnat și de a mări rezistența formei la temperaturi înalte (vopselele și pudrele); de a îmbina diferitele părți componente ale miezurilor și de a repara părțile deteriorate ale formei sau ale miezurilor (cleiurile și pastele de turnătorie).

A. MATERIALE DE FORMARE

1. Nisipuri și lianți pentru turnătorie

În turnătorie se folosesc în principal nisipuri pe bază de cuarț (SiO_2), nisipuri de zircon, nisipuri de cromită și altele.

Nisipurile naturale pentru turnătorie se clasifică, conform STAS 5609-73, după următoarele criterii:

— după conținutul de părți levigabile;
— după granulația medie;
— după gradul de uniformitate al granulelor;
— după forma granulei.

a. **Nisipuri cuarțoase.** Nisipurile cuarțoase sînt alcătuite în proporție de 95—97% din cuarț (SiO_2), iar restul din *componenta levigabilă* și impurități. Componenta levigabilă a nisipului reprezintă acea parte care, în anumite condiții, poate fi spălată. Ea este constituită în cea mai mare parte din argilă. Impuritățile conținute în nisipul pentru turnătorie le constituie oxizii de fier, oxizii metalelor alcaline, sulfurile și substanțele organice.

Nisipurile cuarțoase din țara noastră sînt:

— nisipul de Arghireș, care conține, după spălare, 97—98% cuarț, fiind principalul nisip pentru turnătorie, întrucît este destul de ieftin și există rezerve importante în zăcămînt. Granulele de nisip prezintă asperități și colțuri;

— nisipul de Văleni de Munte, care conține 95—97% SiO_2, fiind un nisip fin și uniform ca mărime; de aceea, se întrebuințează cu precădere pentru forme cu rășini sintetice. Datorită rezervelor limitate ale zăcămîntului cum și a folosirii lui în întreprinderile de sticlă, nisipul de Văleni de Munte se consumă în cantități reduse în turnătorii;

— nisipul de Caraoman, care conține 96—97% SiO_2, are granule uniforme, însă conține feldspați și cochilii de scoici, fapt ce impune o preparare atentă înainte de întrebuințare;

— nisipul de Cornești, care conține 97—98% SiO_2.

De asemenea, se mai folosesc nisipuri cuarțoase de la Bouțari-Caransebeș, Făget-Brănești, Miorcani-Dorohoi și altele.

Nisipurile de zircon și cromită se caracterizează printr-o refractaritate ridicată și dilatare redusă, de aceea se folosesc la executarea formelor pentru turnarea pieselor mari și cu pereți groși, deci solicitate puternic din punct de vedere mecanic și termic.

b. **Lianți pentru turnătorie.** După natura lor, linații folosiți în turnătorie pot fi: anorganici, organici, organosilicici, reziduuri din industrie etc.

Lianți anorganici pot fi naturali sau sintetici. Dintre lianții anorganici naturali, frecvent se folosesc argila și bentonita, iar dintre lianții sintetici sticla solubilă, cimentul etc.

Argila folosită în turnătoriile din țara noastră provine de la Medgidia, Suncuiuș și mai rar de la Anina și Tîrgu-Jiu.

Argila îmbracă granulele de nisip cu un strat subțire de liant, apoi absoarbe apa, se umflă și devine lipicioasă, asigurînd plasticitatea și rezistența mecanică necesară formelor.

Argila de la Medgidia se folosește pentru amestecurile de formare atît la forme crude cît și la cele uscate.

Bentonita este o varietate superioară a argilei fiind alcătuită din particule foarte fine (sub 0,1 μm), ceea ce îi conferă o bună capacitate de liere, de 2—3 ori mai mare decît cea a argilelor obișnuite.

La noi în țară, bentonita se exploatează în carierele de la Gura Sada, Răzoare, Rugi, Valea Chioarului, Eșelnița etc.

Sticla solubilă ($Na_2O \cdot m\ SiO_2 \cdot nH_2O$), numită și silicat de sodiu, se folosește ca soluție apoasă. La pierderea apei de constituție, silicea formează un gel care îmbracă granulele de nisip, iar după uscare se întărește, asigurînd formelor o rezistență mecanică bună.

Cimentul folosit în turnătorii intră în componenta amestecului de formare în proporție de 10—12%; în cazul nisipurilor cuarțoase se mai adaugă 6—10% apă.

Lianți organici, după comportarea lor față de apă, pot fi: hidrofili sau hidrofobi, iar după natura lor: uleiuri vegetale, rășini, reziduuri din industrie etc.

Lianții organici hidrofili se dizolvă în apă. Ca urmare, miezurile cu lianți hidrofili, depozitate după uscare un timp mai îndelungat, absorb apă din atmosferă și își pierd rezistența. De aceea miezurile executate cu lianți hidrofili se folosesc la turnare imediat după operația de uscare.

Lianții organici hidrofobi nu se dizolvă în apă, deci miezurile nu sînt higroscopice, putînd fi păstrate un timp îndelungat pînă la turnarea aliajului.

Lianții organici se folosesc în proporție de 2—4% la executarea miezurilor complicate de mărime mică și mijlocie. Acești lianți se repartizează la periferia granulelor, sub forma unor pelicule cu grosimi de ordinul micronilor, astfel că permeabilitatea nisipurilor nu se reduce aproape de loc.

Uleiurile vegetale folosite în turnătorii sînt: uleiul de in, cînepă și floarea soarelui. Aceste uleiuri asigură o bună rezistență specifică a miezurilor, întrucît prin oxidare produc o peliculă rezistentă care leagă granulele de nisip.

Uleiurile vegetale fiind scumpe sînt frecvent înlocuite cu alți lianți mai ieftini și mai ușor de procurat, cum sînt: rematol și petrolatum oxidat.

Rășinile folosite în turnătorii pot fi: naturale (colofoniul) sau sintetice.

Colofoniul se întrebuințează la turnarea pieselor care prezintă pericolul de formare a crăpăturilor la cald.

Rășinile sintetice folosite în turnătorii sînt: fenolformaldehidice, carbamidice, ureo-formaldehidice (fabricate în țara noastră sub denumirea de Urelit FR.1 și Urelit FR.2), furanice (Fursatil, Rezifix) și poliuretanice.

Reziduurile din industrie sînt produse secundare; de aceea, revin la un cost mai scăzut. Din această categorie fac parte: melasa (de la fabricarea zahărului din sfeclă), leșia sulfitică (de la fabricarea hîrtiei) și gudroanele care se obțin prin distilarea uscată a cărbunelui brun.

De asemenea, se utilizează ca liant în turnătorie și dextrina obținută din amidonul extras din cartofi sau porumb.

2. Adaosuri pentru îmbunătățirea compresibilității amestecurilor de formare

În timpul răcirii metalului turnat, în special în cazul pieselor voluminoase și complexe, acesta se contractă supunînd miezurile și uneori pereții formelor la eforturi de compresiune. Pentru a se evita crăparea miezurilor, respectiv a pereților formelor, atît în stare uscată cît și în stare crudă, în amestecurile de formare se introduc adaosuri care le măresc compresibilitatea. Cele mai folosite adaosuri sînt rumegușul de lemn, pleava și turba.

Rumegușul de lemn se introduce în amestecul de formare în stare umedă. Fiind higroscopic, introducerea sa în stare uscată ar putea produce umflarea formei, ceea ce ar duce la abateri dimensionale ale piesei. Pleava se folosește în special la amestecurile cu conținut ridicat de argilă, pentru a împiedica crăparea masei de argilă în timpul uscării. Turba măcinată se adaugă în proporție de 20%. Pe lîngă mărirea compresibilității amestecurilor de formare, turba, datorită lianților pe care îi conține, face să crească și rezistența mecanică a amestecurilor.

3. Pudre și vopsele de protecție și izolație

a. **Pudre pentru prevenirea aderențelor.** Aderența este o crustă constituită din amestec de formare care se fixează pe suprafața piesei turnate. Pentru îndepărtarea aderențelor de pe piesele turnate se consumă manopera suplimentară și energie. Dacă aderențele nu sînt bine îndepărtate, la prelucrarea mecanică a pieselor turnate se produce uzarea prematură a sculelor așchietoare.

Prevenirea aderențelor se realizează cu ajutorul pudrelor antiaderente, care pot fi: refractare sau combustibile. Aceste pudre se folosesc numai la turnarea în forme crude.

1) *Pudrele refractare* formează un strat cu refractaritate ridicată pe suprafața formei crude, împiedicînd contactul direct dintre metalele și aliajele topite cu pereții formei.

Pudrele refractare folosite frecvent în turnătorii sînt: praful de grafit, praful de cuarț, talcul măcinat și cimentul Portland.

Praful de grafit se întrebuințează la acoperirea cavităților formelor destinate turnării pieselor din fontă. La turnarea oțelului praful de grafit nu este indicat întrucît produce carburarea stratului superficial al pieselor.

Praful de cuarț se folosește la acoperirea cavităților formelor atît pentru turnarea fontei cît și a oțelului. Praful de cuarț, ca pudră de protecție, trebuie să conțină minimum 92% SiO_2, fiind obținut prin măcinarea fină a nisipului de la Văleni de Munte sau Miorcani și cernerea acestuia prin sită cu ochiul de 0,06 mm.

Talcul măcinat se întrebuințează ca pudră la turnarea pieselor din aliaje feroase și mai rar a pieselor din fontă cu pereți subțiri.

Cimentul Portland se întrebuințează în turnătorii de fontă și de oțel. Avantajul folosirii cimentului constă în reducerea apariției suflurilor și în obținerea de piese turnate cu suprafață netedă.

2) *Pudrele combustibile* ard la turnarea metalului sau aliajului, producînd un film de gaze între amestecul de formare și metalul topit. Pudrele combustibile sînt constituite din praf de cărbune sau de mangal.

Aplicarea pudrelor combustibile este limitată numai la turnarea pieselor cu pereți subțiri, întrucît la piese cu pereți groși se produce arderea înainte de răcirea piesei pînă la temperaturi care nu mai provoacă aderența.

Vopselele refractare se aplică pe suprafețele miezurilor și formelor care urmează a fi uscate, constituind un strat refractar la interfața materialului de formare-metalul topit.

Vopselele refractare asigură obținerea de piese cu suprafața netedă și fără aderențe, fapt ce contribuie la îmbunătățirea calității pieselor turnate.

Pentru obținerea efectului dorit, este necesar ca grosimea stratului de vopsea refractară să fie de 1—1,5 mm.

Vopselele refractare sînt constituite din următoarele materiale: praf de cuarț, liant (argilă, bentonită sau leșie sulfitică), apă sau solvent organic și un material care se dilată compensînd astfel contracția altor materiale.

Pentru turnarea pieselor din oțel în forme uscate, vopselele refractare conțin: 70% praf de cuarț, 1,5% dextrină, 3,5% bentonită și 25% apă. În cazul turnării pieselor din fontă se folosesc vopsele refractare constituite din: 60% praf de cuarț, 3,5% dextrină, 3,5% bentonită și 33% apă. Pentru protecția formelor folosite la turnarea pieselor din aluminiu se folosesc vopsele refratrare constituite din: 61% talc, 4% bentonită și 35% apă, iar pentru protecția formelor folosite la turnarea pieselor din bronz și alamă se întrebuințează vopsele cu: 31% talc, 30% praf grafit, 3% bentonită, 3% melasă și 33% apă.

b. **Pudre și vopsele de izolație.** Acestea se folosesc la izolarea modelului de formă sau a jumătăților de formă între ele.

Vopselele de izolație folosesc la umezirea plăcilor de model și a cutiilor de miez metalice în scopul izolării acestora de amestecul de formare.

Ca pudră de izolație folosită în turnătorii se menționează pudra de licopodium, pudra de cuarț uscată, praful de talc etc.

Vopselele de izolație pentru umezirea plăcilor de model se obțin prin amestecarea a 75% petrol și 25% păcură, iar cele pentru umezirea cutiilor de miez metalice se obțin amestecînd 40% ulei de in și 60% petrol. Umezirea se face în strat uniform cu pulverizatorul cu aer comprimat.

c. **Cleiuri și paste pentru miezuri.** Acestea se folosesc la lipirea miezurilor compuse din mai multe bucăți. Miezurile uscate se lipesc cu un clei preparat

din 52% leșie sulfitică, 40% argilă refractară și 8% apă. Pentru lipirea miezurilor se mai folosește un clei preparat din 40% dextrină, 26% grafit și 34% apă.

Miezurile pentru piesele turnate din aliaje de aluminiu se lipesc cu pastă compusă din 72% pudră de cuarț, 8% bentonită și 20% apă.

B. AMESTECURI DE FORMARE

1. Clasificarea amestecurilor de formare

Amestecurile de formare sînt alcătuite din *componenți de bază* (nisip și argilă) și *componenți auxiliari* care se utilizează la executarea formelor și a miezurilor în vederea obținerii diferitelor piese turnate.

Amestecurile de formare se clasifică în:

— amestecuri pentru forme;

— amestecuri pentru miezuri.

Amestecurile pentru forme se împart în: *amestecuri de model*, *amestecuri de umplere* și *amestecuri unice*. Prin amestec de model se înțelege amestecul care se așază într-un strat gros de 15—30 mm direct pe model, iar prin amestec de umplere se înțelege amestecul de formare cu care se completează rama de formare. Amestecul unic este întrebuințat la formarea macanică atît ca amestec de model cît și ca amestec de umplere.

Amestecurile de model și de umplere se folosesc la formarea manuală. Întrucît la turnare, amestecul de model vine în contact cu metalul lichid este necesar ca el să fie superior amestecului de umplere din punct de vedere calitativ.

Amestecurile pentru miezuri, datorită solicitărilor deosebit de mari la care sînt supuse în timpul turnării metalului lichid, sînt constituite din nisipuri de calitate superioară și din diferiți lianți aleși în funcție de natura metalului sau aliajului turnat.

Calitatea pieselor turnate depinde în mare măsură de alegerea corectă a amestecurilor de formare. Multe rebuturi din turnătorii se datoresc folosirii unor amestecuri de formare necorespunzătoare. În turnătoriile din țara noastră s-au adoptat rețete tip pentru amestecurile de formare, în funcție de metalul sau aliajul din care se toarnă piesa, de mărimea și complexitatea acesteia, de tehnologia de formare, de modul de turnare etc.

Pentru amestecurile de formare preparate după aceste rețete, s-au stabilit proprietățile tehnologice de bază. Aceste proprietăți trebuie verificate înaintea întrebuințării amestecurilor de formare. Dacă valorile determinate nu corespund cu cele indicate în rețete, atunci compoziția amestecurilor de formare se modifică.

În tabelul 31.1 se indică informativ compoziția procentuală a unor amestecuri de formare pentru executarea formelor în care urmează a se turna piese din oțel, din fonte și din aliaje neferoase, precum și proprietățile tehnologice de bază ale acestor amestecuri.

Amestecurile pentru miezuri se aleg în funcție de natura aliajului care se toarnă și de clasele în care se încadrează miezurile.

Dată fiind complexitatea miezurilor şi condiţiilor de solicitare variate ale acestora, miezurile au fost împărţite în cinci clase şi anume:

— clasa I: miezuri de formă complicată şi secţiuni foarte subţiri, de exemplu, miezurile pentru chiulasele de motoare;

— clasa a II-a: miezuri de formă complicată cu părţi masive combinate cu nervuri şi punţi subţiri, de exemplu, miezurile pentru blocurile motoare;

— clasa a III-a: miezuri de complexitate şi de dimensiuni mijlocii, fără elemente subţiri, ocupînd în piesele turnate cavităţi neprelucrabile şi ale căror suprafeţe trebuie să fie de calitate superioară, de exemplu, miezurile pentru carterele motoarelor;

— clasa a IV-a: miezuri de formă simplă şi de dimensiuni mari, care în piesele turnate dau naştere unor cavităţi care se prelucrează sau care nu trebuie să îndeplinească condiţii speciale de netezime;

— clasa a V-a: miezuri de dimensiuni foarte mari pentru piese cu masa şi dimensiuni mari.

2. Pregătirea, prepararea şi regenerarea amestecurilor de formare

Materialele de formare nu se folosesc în starea în care sînt primite din carieră, ci numai după ce sînt prelucrate. Principalele prelucrări la care sînt supuse materialele de formare sînt: pregătirea, prepararea şi regenerarea.

1) *Pregătirea* amestecurilor de formare cuprinde următoarele operaţii: uscarea, sfărîmarea şi ciuruirea.

Uscarea este operaţia prin care se urmăreşte scăderea conţinutului de apă în nisipul care intră în turnătorii pînă la maximum 0,5%. Ulterior, prin adăugarea unei anumite cantităţi de apă, se obţine un produs cu umiditatea prescrisă şi uniform repartizată. Pentru ca argila să nu-şi reducă plasticitatea şi însuşirile sale de liant, nisipurile şi amestecurile folosite în turnări anterioare se usucă în jurul temperaturii de 120°C.

Sfărîmarea se aplică nisipului uscat şi materialelor provenite din dezbaterea formelor pentru a se obţine granulaţia necesară. Operaţia se execută cu ajutorul concasoarelor, a cilindrilor de sfărîmare şi a morilor cu bile.

Ciuruirea se aplică materialelor sfărîmate pentru sortarea materialului pe diferite grade de fineţe şi pentru a îndepărta materialul sub formă de bulgări. Ciuruirea se execută pe diferite tipuri de site (oscilante, rotative sau vibratoare).

În cazul amestecului folosit, după sfărîmare, se aplică *separarea magnetică*, pentru îndepărtarea părţilor metalice pe care le conţine.

2) *Prepararea* amestecurilor de formare cuprinde: amestecarea şi afînarea.

Amestecarea se aplică pentru obţinerea unei compoziţii cît mai omogene, acoperirii uniforme a granulelor de nisip cu o peliculă de liant şi distribuirea uniformă a adaosurilor de îmbunătăţire.

Afînarea are drept scop să mărească spaţiile libere dintre granulele de nisip acoperite cu peliculă de liant. Operaţia se execută înainte de întrebuinţare a amestecurilor de formare cu ajutorul unor instalaţii numite *aeratoare*.

3) *Regenerarea amestecului de formare folosit* constă în refacerea proprietăţilor fizico-mecanice ale amestecurilor.

Metodele de regenerare folosite sînt: regenerarea hidraulică şi regenerarea pneumatică.

Regenerarea pneumatică constă în eliminarea particulelor fine de nisip şi de argilă, rezultate la turnări anterioare din cauza temperaturii înalte a metalului lichid, cu ajutorul unui curent de aer.

Regenerarea hidraulică se realizează în bazine cu apă curgătoare, care înlătură nisipul fin şi argila din amestecuri de formare.

3. Proprietăţile amestecurilor de formare

Principalele proprietăţi ale amestecurilor de formare sînt plasticitatea, permeabilitatea şi refractaritatea. În afara acestor însuşiri, amestecurile de formare trebuie să fie rezistente la solicitări mecanice şi durabile.

Prin *plasticitatea amestecurilor de formare* se înţelege proprietatea acestora de a reproduce şi de a menţine configuraţia modelului sau a cutiei de miez. Această proprietate depinde de o serie de factori dintre care cei mai importanţi sînt (fig. 31.1):

— conţinutul în componenta levigabilă şi calitatea acesteia;

— cantitatea de apă din amestec;

— uniformitatea peliculei de liant care acoperă granulele de nisip;

— forma granulelor de nisip şi mărimea acestora.

Prin *permeabilitate* se înţelege proprietatea amestecurilor de formare de a lăsa să treacă prin ele gazele provenite de la metalul topit şi a vaporilor de apă formaţi la turnare.

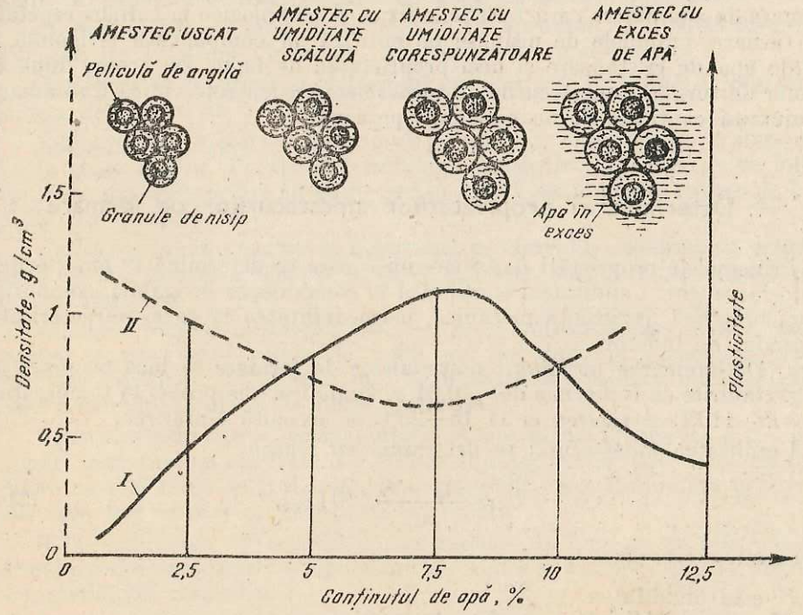


Fig. 31.1. Variaţia plasticităţii *I* şi a densităţii *II* a amestecurilor de formare în funcţie de cantitatea de apă din amestec.

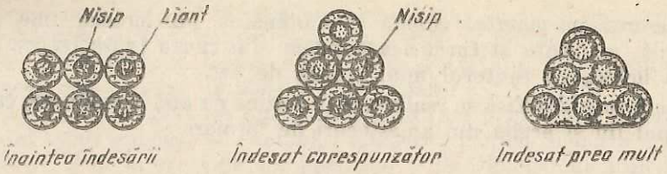


Fig. 31.2. Dependența permeabilității amestecurilor de formare de gradul de îndesare.

Permeabilitatea amestecurilor de formare depinde de:
— dimensiunile, uniformitatea și forma granulelor de nisip;
— conținutul în componentă levigabilă;
— cantitatea de apă din amestec;
— gradul de îndesare al formei (fig. 31.2).

Prin *refractaritate* se înțelege proprietatea nisipurilor și a amestecurilor de formare de a rezista la temperaturile de turnare fără a se vitrifia. Prin vitrificare se înțelege formarea pe suprafața piesei turnate a unei cruste compacte-sticloase care îngreuiază operația de curățire.

Principalii factori care determină refractaritatea amestecurilor de formare sînt: compoziția chimică și granulația nisipurilor.

Amestecurile de formare trebuie să aibă rezistența mecanică corespunzătoare, care să împiedice deteriorarea formelor și a miezurilor în timpul turnării metalului topit sau în timpul manipulărilor.

Rezistența mecanică crește, de obicei, în dauna permeabilității, de aceea trebuie menținută o anumită corelație între acești doi parametri.

Prin *durabilitate* se înțelege proprietatea nisipurilor și a amestecurilor de formare de a-și păstra caracteristicile fizice și tehnologice la turnări repetate. La turnare, granulele de nisip se fărîmițează iar componenta levigabilă își pierde apa de cristalizare și deci proprietatea de liant. De aceea, după un număr de turnări, amestecurile de turnare sînt regenerate, adică li se adaugă o anumită cantitate de nisip și liant proaspăt.

4. Determinarea proprietăților amestecurilor de formare

Principalele proprietăți fizico-mecanice care se determină la amestecurile de formare sînt: umiditatea, conținutul în componenta levigabilă, compoziția granulometrică, rezistența mecanică, permeabilitatea la gaze, refractaritatea și gradul de îndesare.

a) Determinarea *umidității* materialelor de formare se face pe probe de 20 g, cîntărite cu o precizie de $\pm$ 0,01 g. După uscarea probei la temperatura de 105—110°C și răcirea ei la 15—25°C se execută cîntărirea.

Umiditatea amestecului se determină cu relația:

$$U = \frac{M_1 - M_2}{M_1} 100\ [\%], \qquad (31.1)$$

în care:

U este umiditatea, în %;
M_1 — masa inițială a probei, în g;
M_2 — masa probei uscate, în g.

De asemenea, pentru determinarea umidității se folosește reacția dintre carbura de calciu și apa din amestec.

b) Determinarea *componentei levigabile* se face frecvent prin metoda decantării. În acest scop o anumită cantitate de amestec de formare uscat se spală într-un agitator. După spălarea amestecului, se așteaptă să decanteze nisipul și se sifonează apa tulbure. Conținutul în componenta levigabilă este egal cu diferența dintre masa inițială a amestecului uscat și masa acestuia după îndepărtarea componentei levigabile și uscare.

Componenta levigabilă se determină cu formula:

$$C = \frac{M_i - M_f}{M_i} \cdot 100\ [\%], \qquad (31.2)$$

în care:

C este componenta levigabilă;
M_i — masa amestecului uscat, în g;
M_f — masa nisipului uscat, după spălare, în g.

c) Determinarea *granulației* constă în cernerea nisipului uscat într-un aparat numit *granulometru*, prevăzut cu o garnitură de nouă site, cu următoarele dimensiuni de ochiuri, în mm: 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 1,0 și 1,5.

După cernere se calculează procentul de resturi R de pe fiecare sită cu formula:

$$R = \frac{M_i}{50} \cdot 100[\%], \qquad (31.3)$$

unde M_i reprezintă masa restului de nisip de pe sita precedentă.

d) *Rezistențele mecanice* se determină pe epruvete de diferite forme prin solicitări de tracțiune, forfecare, încovoiere și compresiune.

Rezistența la tracțiune se determină pe epruvete în formă de opt cu secțiunea de rupere de 5 cm^2.

Rezistența la forfecare se determină pe epruvete cilindrice fie în stare crudă fie în stare uscată. Pentru determinarea *rezistenței la încovoiere* se folosesc epruvete paralelipipedice în stare uscată avînd secțiunea de rupere de 5 cm^2 (2,236 cm $\times$ 2,236 cm).

Rezistența la compresiune se determină pe epruvete cilindrice cu diametrul de 50 $\pm$ 0,1 mm și înălțimea de 50 $\pm$ 0,5 mm, atît în stare uscată cît și în cea umedă.

e) Determinarea *permeabilității* se face măsurîndu-se timpul necesar pentru trecerea unui volum de 2 000 cm^3 aer dintr-un gazometru printr-o epruvetă cilindrică; în același timp se măsoară și presiunea manometrică cu care pătrunde aerul pe la baza apruvetei.

Pentru determinarea permeabilității se face media aritmetică a trei determinări executate cu epruvete din același amestec de formare. Dacă rezultatul diferă cu mai mult de 10% față de permeabilitatea determinată pentru una din cele trei epruvete, încercarea se repetă.

f) Determinarea *refractarității* materialelor de formare se poate face cu următorii doi parametri: temperatura de topire și temperatura de vitrificare a materialului respectiv.

Pentru determinarea *temperaturii de topire* se folosesc etaloane speciale, numite *indicatori piroscopici*. Acești indicatori se execută din mase ceramice

cu refractaritatea cunoscută, avînd forma unor trunchiuri de piramidă cu baza triunghiulară. Fiecare număr al indicatorului periscopic (I.P.158-I.P.200) corespunde unei anumite temperaturi de înmuiere de la 1580°C la 2000°C.

Determinarea refractarității constă în introducerea într-un cuptor cu temperatura ridicată a două trunchiuri de piramidă executate din amestec de formare împreună cu indicatorii periscopici de diferite numere. În momentul în care trunchiurile de piramidă din amestec de formare s-au încovoiat pînă la bază se consideră că s-a atins temperatura de topire. În acest moment se caută indicatorul piroscopic încovoiat odată cu trunchiul de piramidă și prin comparație se stabilește temperatura de topire.

g) *Gradul de îndesare al formelor* sau *miezurilor* în stare umedă se determină cu ajutorul *aparatului Dietert* care funcționează pe principiul aparatului Brinell.

În practică pentru gradul de îndesare determinat cu aparatul Dietert se recomandă următoarele valori:

— la forme pentru turnarea fontei maleabile, 30—50;
— la forme pentru piese mijlocii din fontă, 60—70;
— la forme pentru piese mari din oțel și fontă, 75—90.

C. MĂSURI DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII LA PREPARAREA AMESTECURILOR DE FORMARE

Pentru evitarea accidentelor de muncă la instalațiile de preparare a amestecurilor de formare trebuie respectate următoarele măsuri:

La instalațiile de preparare care degajă praf se vor prevedea sisteme de ventilare și învelitoare pentru a împiedica răspîndirea acestuia în halele de lucru.

La separatoarele magnetice, tamburul cu electromagnet și cadrul metalic trebuie să fie legate la pămînt, iar conductoarele de curent electric să fie izolate și protejate.

Instalațiile de preparare trebuie prevăzute cu scări de acces sau galerii bine montate și diferitele locuri de muncă ale instalației să fie iluminate.

Instalațiile complexe trebuie să fie prevăzute cu diferite sisteme de semnalizare (acustice sau optice) pentru semnalarea punerii lor în funcțiune.

Morile cu bile, concasoarele și alte instalații care produc zgomot mare trebuie prevăzute cu sisteme de izolare fonică.

Capitolul 32

UTILAJE, SCULE ȘI DISPOZITIVE FOLOSITE LA FORMARE

1. Rame de formare

Ramele de formare sînt cutii metalice fără fund, care se utilizează la executarea manuală și mecanică a formelor de turnare.

Ramele de formare se execută din oțel laminat, din fontă cenușie și din aliaje de aluminiu dacă au dimensiuni mici. Dimensiunile ramelor de formare sînt date în STAS 2890-69.

Pentru formare se folosesc, de obicei, două sau chiar mai multe rame. Pentru ghidare, în timpul asamblării una din ramele pereche este prevăzută cu tija de centrare *1* (fig. 32.1), iar cealaltă cu urechile de ghidare *2*. Ramele pot fi manevrate cu ajutorul mînerelor *3*, iar pentru menținerea amestecului ramele sînt prevăzute, în dreptul planului de separație, cu gulerele *4* sau cu nervurile interioare.

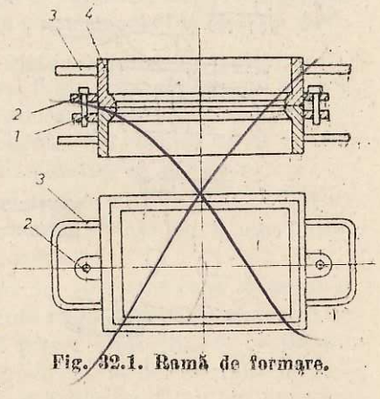


Fig. 32.1. Ramă de formare.

2. Scule folosite la formare

La executarea formelor se folosesc următoarele scule (fig. 32.2): lopata bătătoare, vergele de oțel, ciocane de lemn, perii, cîrlige pentru demulare, lanțete, troile, croșete, esuri, netezitoare etc.

Bătătoarele pot fi manuale sau mecanice și servesc la îndesarea amestecului de formare în rame și în cutiile de miez. Lanțetele sînt folosite pentru netezirea formelor și înlăturarea defectelor acestora; ele mai servesc și la refacerea miezurilor. Troila are partea de lucru plană, fiind utilizată la netezirea suprafețelor plane ale formelor și miezurilor. Croșetele sînt în formă de cîrlig plat, cu ajutorul cărora se scot din formă corpurile străine căzute în cavitate; uneori, ele se folosesc și la unele mici reparații ale formelor. Netezitoarele sînt piese profilate care servesc la netezirea porțiunilor curbe ale formelor.

3. Modele, cutii de miez și plăci de model

a. **Modelul.** Modelul este un element constructiv care servește la realizarea unor goluri din interiorul formei, reprezentînd negativul piesei turnate. Modelul poate fi: *permanent*, executat din metal, lemn, rășini; *temporar*, executat din gips, și *evacuabil*, executat din materiale fuzibile.

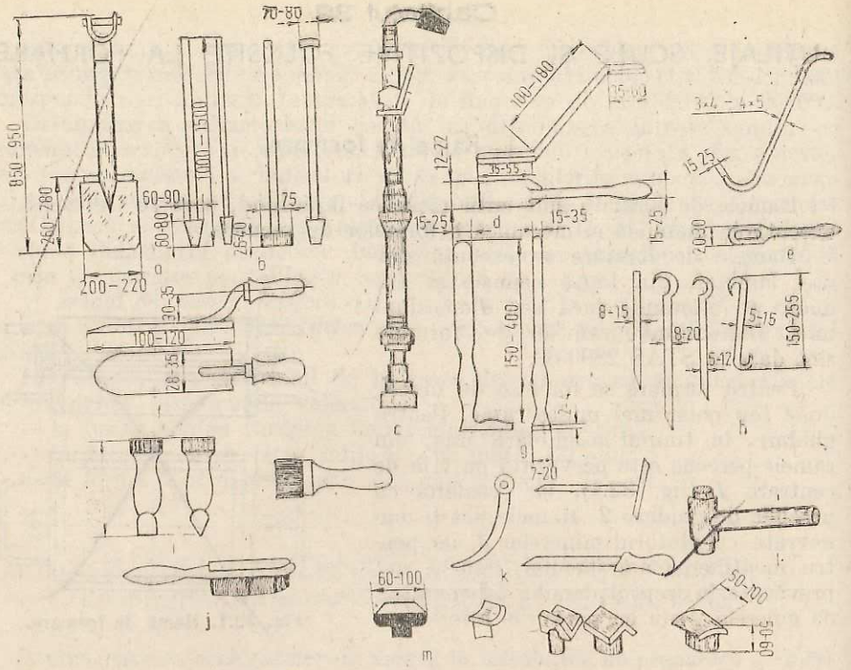


Fig. 32.2. Scule folosite la formare:
a — lopată; *b* — bătătoare; *c* — bătător pneumatic; *d* — lanțete; *e* — es; *f* — troilă; *g* — croșete; *h* — cîrlige pentru demulare; *i* — bătătoare scurte; *j* — perii; *k* — vergele de oțel; *l* — ciocan de lemn; *m* — netezitoare.

Modelul poate servi: la generarea cavității pentru introducerea aliajului lichid din care rezultă piesa turnată, numindu-se *modelul piesei turnate*, și pentru generarea cavității rețelei de turnare — *modelul rețelei de turnare*.

Garnitura de model cuprinde toate elementele care contribuie la realizarea cavității pentru turnarea metalului lichid, și anume: modelul piesei turnate, modelul rețelei de turnare, cutii de miez, plăcile-model, modelul maselotei etc. *Plăcile-model* se utilizează la formarea mecanizată și cuprind mai multe modele pentru a se realiza o productivitate mai mare la formare.

Speciile de lemn folosite la executarea garniturilor de model sînt: pinul, molidul, teiul, aninul, mesteacănul, fagul și stejarul.

Pentru executarea modelelor metalice se utilizează următoarele aliaje: aliaje de aluminiu (STAS 201/2-71), fontele cenușii (STAS 568-75), bronzurile și alamele (STAS 197/1-75 și 197/2-76) și aliajele de plumb.

Aliajele de aluminiu se folosesc cel mai frecvent întrucît sînt ușor prelucrabile și rezistente la coroziune. Ele se folosesc pentru executarea modelelor, cutiilor de miez și a plăcilor model.

Fontele cenușii se întrebuințează la executarea modelelor și a plăcilor de model la producția în serie mare. Prezintă dezavantajul că se oxidează ușor și se manevrează greu datorită masei mari.

Bronzurile și alamele se folosesc pentru executarea modelelor mici și cu forme complexe la producție în serie mare.

Aliajele de plumb se utilizează pentru executarea modelelor în cazul producției de serie mică.

Ipsosul se folosește la realizarea modelelor în următoarea compoziție: ipsos 45—50% de masă și apă 5—50% de masă. Acest amestec are rezistența la tracțiune de circa 15 daN/cm², după șapte zile de la realizare.

Rășinile se folosesc la executarea modelelor mici și mijlocii la producția în serie mare. Rășinile pentru modele fac parte din grupa rășinilor epoxidice.

Materialele ușor fuzibile (50% stearină și 50% parafină) se folosesc pentru modele mici și mijlocii la turnare de precizie în cazul producției în serie mare.

b. **Proiectarea garniturii de model.** La dimensionarea modelelor și a cutiilor de miez se pornește de la desenul piesei finite, suprafețelor de separație a modelului și ale cutiei de miez, înclinările și racordurile constructive, adaosurile de prelucrare și adaosurile tehnologice, dimensionarea și amplasarea rețelei de turnare și a maselotelor și dimensionarea mărcilor.

a) *Suprafețele de separație ale modelului* trebuie astfel alese încît să asigure extragerea ușoară a modelului din formă, realizarea formei cu cît mai puține miezuri și fixarea sigură a miezurilor în formă.

Dacă nu este posibil de găsit o suprafață de separație care să permită extragerea modelului din formă, atunci se execută modele cu părți demontabile.

În figura 32.3,*a* este reprezentat desenul piesei finite (butuc cu flanșe), în figura 32.3,*b* modelul executat din lemn cu suprafața de separație orizontală, ce permite o ușoară extragere din formă, și în figura 32.3,*c* cu suprafața de separație verticală, ceea ce îngreuiază extragerea modelului.

b) *Înclinările constructive.* Pereții modelului aflați perpendiculari pe suprafața de separație se prevăd cu înclinări pentru a ușura extragerea modelului din formă, operație numită *demulare*.

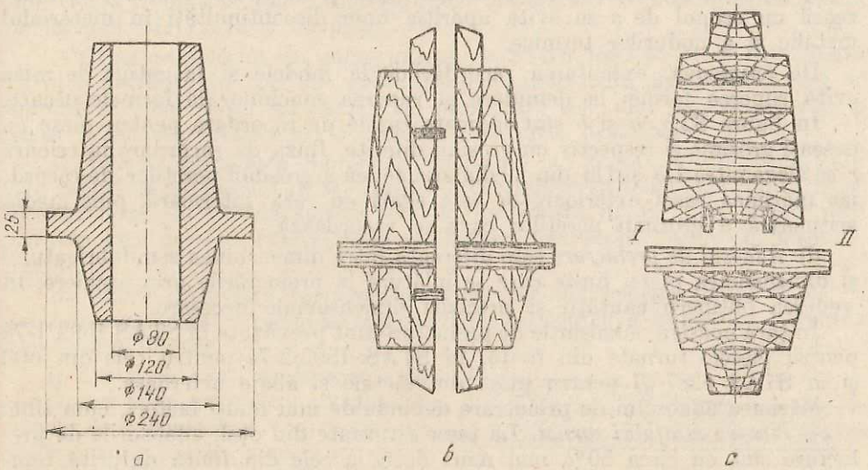


Fig. 32.3. Butuc cu flanșe:
a — piesa finită; *b* și *c* — modelul din lemn.

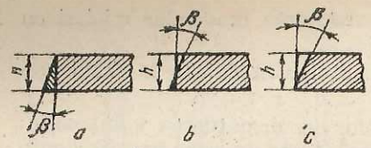


Fig. 32.4. Înclinări constructive.

Din punct de vedere constructiv, înclinările modelelor și a cutiilor de miez se pot realiza prin îngroșare (fig. 32.4,*a*), prin îngroșare și subțiere (fig. 32.4,*b*) sau prin subțiere (fig. 32.4,*c*).

Mărimea înclinărilor se prevede pe desenul de tehnologie după normele interne ale întreprinderilor. În tabelul 32.1 se dau valorile înclinărilor modelelor și a cutiilor de miez executate din lemn și din metale.

TABELUL 32.1

Mărimea înclinărilor modelelor și a cutiilor de miez

Înclinarea	Înălțimea piesei h, mm	Înclinarea constructivă a modelului, grade	
		Modele din lemn	Modele metalice
Cu îngroșare	sub 20	3°	1°30′
	20—50	1°30′	1°
	50—100	1°	0°45′
	100—200	0°45′	0°30′
Cu îngroșare și subțiere	200—300	0°30′	0°30′
	300—500	0°30′	0°20′
	500—800	0°30′	0°20′
Cu subțiere	800—1 600	0°20′	—
	1 600—2 000	0°20′	—
	2 000—2 500	0°15′	—

c) *Racordările constructive* la modele, deci și la piesele turnate, se realizează cu scopul de a se evita apariția unor discontinuități în materialul metalic și a nodurilor termice.

De asemenea, executarea racordărilor la modele și la cutiile de miez evită ruperea formei la demulare și ruperea muchiilor la formele uscate.

În figura 32.5, *a* și *b* sînt indicate razele de racordare pentru piese cu aceeași grosime și respectiv cu grosimi diferite. Raza de racordare interioară r se alege între 1/5 și 1/3 din media aritmetică a grosimii pereților de racord, iar mărimea razei exterioare R este egală cu raza interioară, plus media aritmetică a grosimii pereților care se racordează.

d) *Adaosul de prelucrare* este diferența între dimensiunea semifabricatului și dimensiunea piesei finite care se înlătură la prelucrările prin așchiere, în vederea obținerii calității și preciziei dimensionale necesare.

În țara noastră, adaosurile de prelucrare sînt prevăzute în STAS 1592/1-74 pentru piesele turnate din fontă, în STAS 1592/2-74 pentru cele din oțel și în STAS 6287-67 pentru piese din metale și aliaje neferoase.

Mărimea adaosului de prelucrare depinde de mai mulți factori, cum sînt:

— *Natura aliajului turnat.* La piesele turnate din oțel, adaosurile de prelucrare sînt cu circa 50% mai mari decît la cele din fontă datorită temperaturii de turnare a oțelului, presiunii puternice a jetului de metal și solicitării termice a suprafeței active a formei.

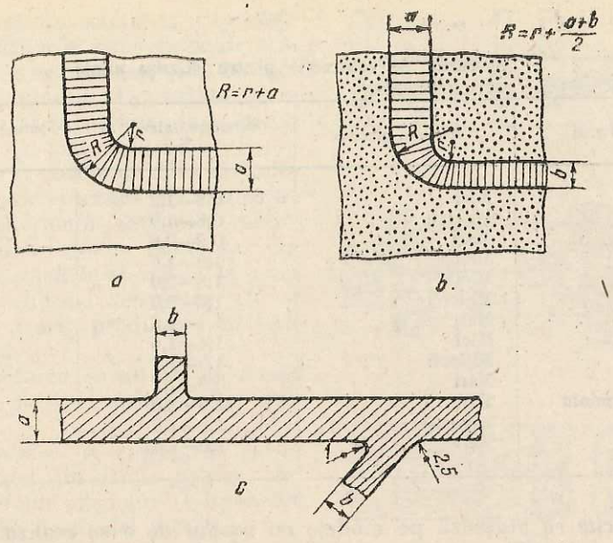


Fig. 32.5. Calcularea și indicarea razelor de racordare.

— *Dimensiunile piesei.* Adaosurile de prelucrare mecanică cresc cu dimensiunea piesei și cu suprafața de prelucrare întrucît piesele mari suferă deformații mai pronunțate.

— *Metoda de formare.* La formarea manuală adaosurile de prelucrare sînt mai mari decît la formarea mecanică, deoarece, la formarea manuală, modelul se deplasează în plan orizontal pentru a se desprinde de amestecul de formare.

— *Poziția suprafeței.* Suprafețele pieselor turnate care se află în partea superioară trebuie să aibă o îngroșare mai mare deoarece aici se aglomerează incluziunile de zgură și de nisip.

— *Clasa de precizie.* În conformitate cu STAS 1592-74 piesele din fontă și oțel obținute în formele executate cu modele din lemn sau metal se împart în cinci clase. Adaosurile de prelucrare cele mai mici se prevăd la clasa I, iar cele mai mari la clasele de precizie următoare.

e) *Adaosul tehnologic* reprezintă surplusul de metal pe unele porțiuni sau suprafețe ale piesei turnate rezultînd din aplicarea tehnologiei de turnare. Scopul principal al adaosurilor tehnologice constă în obținerea unor piese turnate fără defecte interne și în realizarea unei fixări ușoare în mașinile-unelte.

În figura 32.6 este reprezentată trecerea lină (porțiunea h) de la o secțiune mai groasă a piesei la alta mai subțire, pentru a împiedica formarea tensiunilor interne.

f) *Sporurile de construcție* sînt surplusuri dimensionale prevăzute cu scopul de a compensa contracția pieselor turnate. Aceste surplusuri se prevăd la modele și la cutiile de miez. Valorile contracției pentru diferite aliaje sînt indicate în tabelul 32.2.

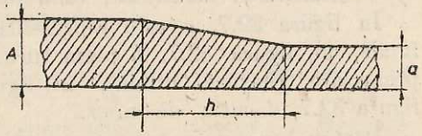


Fig. 32.6. Trecerea lină de la un perete la altul pentru un raport $A : a \geqslant 2$.

TABELUL 32.2

Sporurile de contracție pentru diferite aliaje

Aliajul turnat	Mărimea pieselor	Contracția liniară, în %	Sporul de contracție, în %
Fontă cenușie	Mici	0,8—1,2	
	Mijlocii	0,6—1,0	1,0
	Mari	0,2—0,8	
Fontă maleabilă	Mici	1,0—1,5	1,5
Oțel carbon	Mici	1,8—2,0	
	Mijlocii	1,6—2,0	2,0
	Mari	1,4—1,8	
Bronz cu staniu	Mici	1,4—1,6	
	Mijlocii	1,0—1,4	1,25
	Mari	0,8—1,2	
Bronz cu aluminiu	Mici	1,5—2,0	
	Mijlocii	1,2—1,6	1,5
	Mari	1,0—1,5	

g) *Mărcile* se atașează pe modele cu scopul de a se realiza o cavitate în formă pentru fixarea miezului. Dimensionarea corectă a mărcilor contribuie la simplificarea cutiilor de miez, la stabilitatea miezului în timpul turnării etc.

Dimensiunile mărcilor pentru miezurile orizontale sau verticale precum și abaterile limită sînt date în STAS 1127-70, în funcție de procedeul de formare (manual sau mecanizat).

Pentru miezurile cilindrice, mărcile au o formă cilindrică în cazul formării manuale și o formă puțin deosebită constructiv pentru formarea mecanizată.

Pentru miezurile cilindrice verticale mărcile au forma unui trunchi de con.

4. Executarea garniturilor de model

În cazul executării garniturii de model din lemn se prevăd următoarele operații:

— *trasarea* pe planșeta modelorului a secțiunii piesei turnate la scara 1 : 1;
— *stabilirea dimensiunilor modelului* semifabricat;
— *executarea modelului* semifabricat;
— *prelucrarea primară* a modelului semifabricat și trasarea modelului semifabricat;
— *executarea modelului* din *modelul semifabricat;*
— *asamblarea modelului, controlul și vopsirea.*

În figura 32.7, *a* este reprezentată o țeavă cu flanșă la dimensiunile finale, în figura 32.7, *b* piesa turnată la care s-a prevăzut adaosul de prelucrare (haşură dublă), în figura 32.7, *c* modelul din lemn și în figura 32.7, *d* cutia de miez.

Pentru protejarea împotriva umidității atmosferice, modelele din lemn se vopsesc și se lăcuiesc. Lăcuirea mai ajută ca în timpul lucrului amestecul

de formare să nu adere la suprafața modelului. Culorile convenționale utilizate la vopsirea modelelor și a cutiilor de miez, în funcție de metalul care urmează a se turna, sînt date în tabelul 32.3.

Modelele și cutiile de miez metalice se execută prin turnare și prelucrare mecanică ulterioară sau prin prelucrarea semifabricatelor laminate. Costul acestor modele și cutii de miez este relativ ridicat; de aceea ele se folosesc în cazul producției în serie sau în masă.

La executarea garniturii de model metalic se prevăd următoarele operații:

— *proiectarea* și *executarea garniturii* de model din lemn pentru turnarea diferitelor elemente componente ale garniturii de model metalice;
— *turnarea elementelor* după modelul din lemn;
— *prelucrarea modelului* metalic prin așchiere;
— *montarea* pe plăci de model.

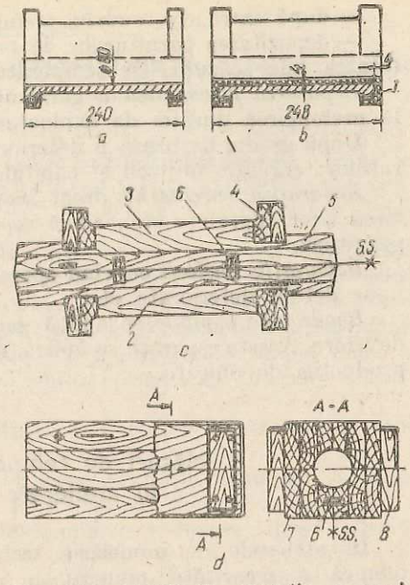


Fig. 32.7. Fazele de execuție a unei garnituri de model.

În modelării se mai execută șabloane și modele schelet pentru formare.

Șablonul de formare este un element profilat cu ajutorul căruia se execută cavitatea formei prin rotirea lui în jurul unui ax sau prin translație.

TABELUL 32.3

Culorile convenționale utilizate la vopsirea modelelor și cutiilor de miez

Partea care se vopsește	Suprafața modelului și interiorul cutiilor de miez pentru piese turnate din:			Mărcile modelelor	Suprafața de asamblare a părților de model sau ale cutiilor de miez	Adaosurile de prelucrare
	fontă	oțel	metale neferoase			
Culoarea	roșie	albastră	galbenă	negre	verde	haşuri negre

Modelele schelet se folosesc în cazul pieselor cu dimensiuni mari și cu pereți cu grosime constantă, fiind constituite din mai multe elemente care reproduc, la interior și exterior, secțiunea transversală a piesei.

Întreținerea și repararea garniturilor de model. Garniturile de model sînt costisitoare; de aceea, se prevăd o serie de măsuri care să conducă la prelungirea duratei lor în exploatare, și anume:

— să fie protejate de lovituri;
— să fie menținute un timp scurt în forme pentru a nu absoarbe umiditatea din amestecul de formare;
— extragerea modelului din formă trebuie făcută cu atenție și fără a se aplica lovituri în locurile mai puțin rezistente;

— după extragere modelul trebuie să fie șters cu o perie moale;
— depozitarea garniturilor de model să se facă în magazii în care umiditatea este scăzută, iar temperatura de circa 20°C.

Repararea sistematică a garniturilor de model contribuie, de asemenea, la prelungirea duratei de exploatare a acestora.

După gradul de uzare și deteriorare, garniturile de model se supun reparațiilor: curente, mijlocii și capitale.

Reparațiile curente au drept scop completarea unor muchii rupte, netezirea unor suprafețe etc., adică reparații care nu influențează dimensiunile garniturii.

Reparațiile mijlocii cuprind operații de întărire a unor îmbinări, înlocuirea unor detalii deteriorate etc.

Reparațiile capitale se aplică garniturilor de model cu un grad avansat de uzare. Aceste reparații se aplică, datorită neeconomicității, numai în cazul producției de unicate.

5. Măsuri de tehnică a securității muncii în atelierele de modelărie

În atelierele de modelărie trebuie respectate următoarele măsuri de tehnică a securității muncii:

— fumatul este permis numai în locuri special amenajate datorită aprinderii ușoare a materialelor lemnoase;
— tejghelele modelorilor se montează în încăperi separate de mașinile care produc praf (ferăstraie, strunguri etc.);
— mașinile și utilajele care produc praf în timpul funcționării trebuie să fie prevăzute cu instalații pentru captarea prafului;
— mașinile și utilajele trebuie să fie prevăzute cu apărători pentru toate organele în mișcare (pînza circulară, curele de transmisie etc.);
— mașinile și utilajele acționate cu curentul electric trebuie să fie legate la pămînt, iar conductoarele bine izolate;
— instrumentele și uneltele întrebuințate de modelor (ciocane, dălți, rindele etc.) să fie păstrate în perfectă stare de exploatare;
— încăperile în care se execută vopsirea modelelor și a cutiilor de miez trebuie prevăzute cu instalații de ventilație;
— încăperile pentru executarea modelelor din rășinile sintetice trebuie să aibă o bună ventilație; modelorii trebuie să-și spele mîinile cu apă caldă și săpun cît mai des.

Capitolul 33

METODE DE EXECUTARE A FORMELOR ȘI A MIEZURILOR

A. EXECUTAREA MANUALĂ ȘI MECANIZATĂ A FORMELOR TEMPORARE ȘI A MIEZURILOR

Prin formare se înțelege operația de executare a unui ansamblu numit *formă*, prevăzut cu una sau mai multe cavități destinate turnării pieselor. La producția individuală sau de serie mică, forma se obține prin îndesarea manuală a amestecului de formare în rame, formele executîndu-se în întregime cu ajutorul uneltelor manuale. La producția în serie mare sau în masă se folosește formarea mecanică la care cel puțin operația de îndesare a amestecului se execută pe mașini.

După locul în care se execută cavitatea se deosebesc: formarea în solul turnătoriei și formarea în rame.

După elementele care servesc la obținerea cavității, formarea se poate executa cu modele sau cu șabloane. Formarea cu modele se folosește în cazul producției în serie mare sau în masă, precum și în cazul producției de unicate, atunci cînd piesele nu au profil constant sau nu sînt corpuri de rotație. În caz contrar, la producția de unicate, pentru executarea formelor simple, în locul modelelor se folosesc șabloane. Șablonarea poate fi de rotație sau de translație.

1. Elemente constructive ale rețelei de turnare

Odată cu formele se execută și rețeaua de turnare (fig. 33.1) care cuprinde totalitatea canalelor și cavităților ce servesc la introducerea aliajului lichid în formă. Rețeaua de turnare se compune din următoarele elemente: cupa și pîlnia de turnare *1*, piciorul pîlniei *2*, canalul de distribuție (canalul colector de zgură) *3* și canalele de alimentare *4*.

Pîlnia de turnare are rolul de a prelua aliajul lichid din oala de turnare care este introdus apoi în cavitatea formei. De asemenea, pîlnia micșorează presiunea dinamică a aliajului în cădere, asigură debit constant de aliaj lichid și reține zgura sau alte impurități din metal. În figura 33.2 sînt reprezentate diferite forme constructive ale pîlniei de turnare: tronconică (fig. 33.2, *a*) și cupă (fig. 33.2, *b*).

Piciorul pîlniei este un canal vertical, care servește pentru trecerea metalului lichid din pîlnia de turnare în canalul de distribuție. Piciorul are formă conică sau cilindrică.

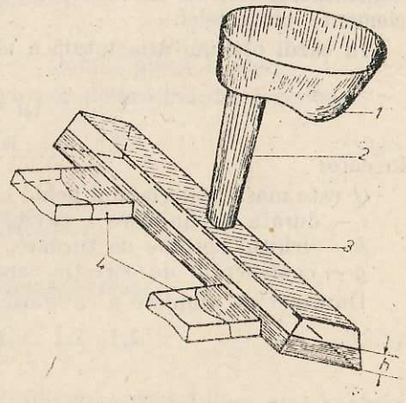


Fig. 33.1. Elemente constructive ale rețelei de turnare.

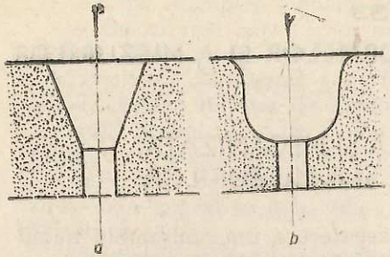


Fig. 33.2. Diferite forme constructive ale pîlniilor de turnare:
a — pentru piese mici; *b* — pentru piese mici și mijlocii.

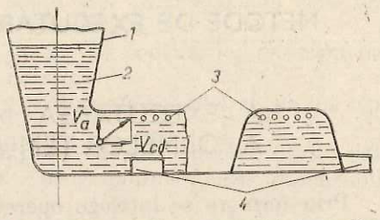


Fig. 33.3. Secțiunea canalului de distribuție:
v_a — viteza de ascensiune a incluziunii; v_{cd} — viteza aliajului în canal; *1* — piciorul pîlniei; *2* — aliaj lichid; *3* — incluziunea; *4* — canal de alimentare.

Canalul de distribuție are rolul de a conduce aliajul lichid din piciorul pîlniei și alimentatoare și să rețină zgura și impuritățile existente în aliajul lichid. Pentru a-și îndeplini acest rol, canalul de distribuție se execută cu lungime mare și cu secțiunea transversală trapezoidală (fig. 33.3).

Alimentatoarele fac legătura între canalul de distribuție și cavitatea formei. Secțiunea transversală a alimentatoarelor poate fi dreptunghiulară (la turnarea aliajelor de Al și Mg), trapezoidală (oțel, fontă, alamă și bronz) și mai rar circulară întrucît este greu de executat.

Pentru a se asigura curgerea liniștită a aliajului lichid în cavitatea formei, secțiunea alimentatoarelor crește treptat spre cavitatea formei, contribuind astfel la reducerea vitezei de mișcare a metalului lichid.

În funcție de cavitatea formei, rețeaua de turnare poate fi astfel poziționată încît pătrunderea aliajului să se facă pe la partea superioară (turnarea directă) (fig. 33.4, *a*), pe la partea inferioară (turnarea indirectă sau prin sifon) (fig. 33.4, *b*) și lateral la o anumită înălțime a cavității (turnare cu atac lateral) (fig. 33.4, *c*).

Pentru dimensionarea rețelei de turnare se determină în primul rînd aria alimentatoarelor, iar în raport cu aceasta se stabilesc apoi ariile celorlalte elemente ale rețelei.

În cazul oțelului aria totală a alimentatoarelor se determină cu relația:

$$A_{al} = \frac{Q}{t \cdot k \cdot p}[\text{cm}^2], \qquad (33.1)$$

în care:

Q este masa materialului lichid care trece prin rețeaua de turnare, în kg;
t — durata de umplere a cavității formei, în s;
k — debitul specific de turnare, în kg/cm² · s;
p — coeficientul de corecție care ține seama de natura metalului.

Durata t de umplere a cavității formei se determină cu expresia:

$$t = s\sqrt{Q}, \qquad (33.2)$$

unde s este un coeficient de corecție legat de grosimea medie a pereților și de natura metalului.

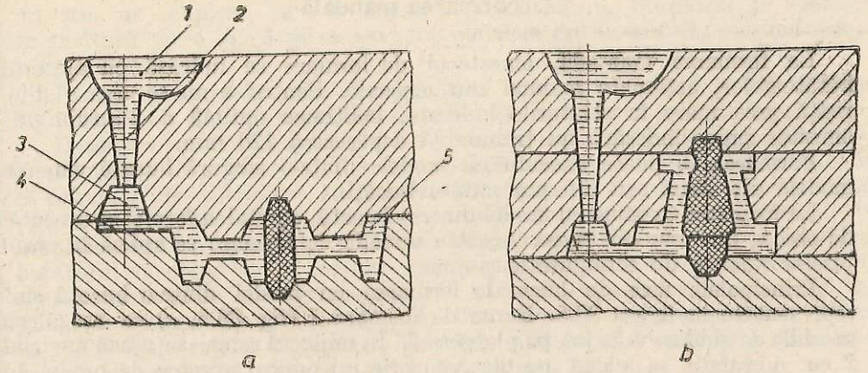


Fig. 33.4. Diferite sisteme de intrare a aliajului lichid în cavitatea formei:
a — direct; *b* — indirect (în sifon); *c* — lateral: *1* — pîlnia de turnare; *2* — piciorul pîlniei; *3* — colector de zgură; *4* — canal de alimentare; *5* — piesa turnată.

Debitul specific de turnare k este funcție de densitatea relativă a pieselor turnate ρ_p, care se obține din relația:

$$\rho_p = \frac{Q}{V}[\text{kg/dm}^3].$$

unde: Q este masa metalului lichid; V — volumul piesei turnate.

Celelalte elemente ale rețelei de turnare se determină din raportul:

$$A_{al} : A_{cd} : A_p = 1{,}0 : 1{,}1 : 1{,}2, \qquad (33.3)$$

în care:

A_{cd} este aria canalului de distribuție;
A_p — aria piciorului pîlniei.

În cazul fontei cenușii raportul secțiunilor este:

$$A_{al} : A_{cd} : A_p = 1{,}0 : 1{,}2 : 1{,}4. \qquad (33.4)$$

În cazul fontei cu grafit nodular se folosește raportul:

$$A_{al} : A_{cd} : A_p = 1{,}0 : 1{,}4 : 1{,}25. \qquad (33.5)$$

2. Formarea manuală

La formarea manuală, amestecul de formare se îndeasă cu ajutorul bătătoarelor, acționate manual sau mecanic. Pentru a nu se crea o diferență prea mare în straturile îndesate, înălțimea optimă a stratului de amestec supus îndesării nu trebuie să depășească 120 mm.

Formarea se poate executa cu modele dintr-o singură bucată sau cu modele din două sau din mai multe bucăți.

La formarea în rame cu model dintr-o bucată, cavitatea formei se execută, de obicei, într-una din rame. Această metodă de formare se aplică în cazul piselor mici și de configurație simplă.

Principalele faze de lucru la formarea cu model dintr-o bucată sînt reprezentate în figura 33.5. Rama de formare *1* (fig. 33.5, *a*) se așază cu urechile de ghidare *4* în jos pe planșeta *5*. În mijlocul ramei se așază modelul *2* cu suprafața sa plană pe planșetă. Se introduce amestec de model în

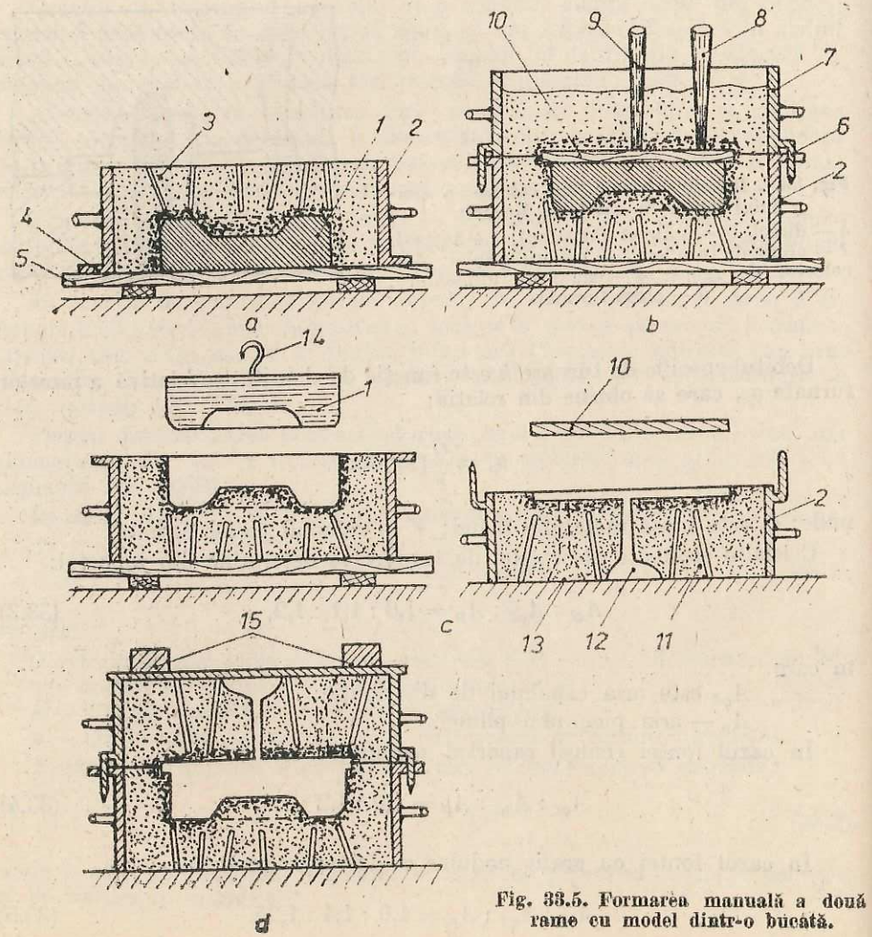


Fig. 33.5. Formarea manuală a două rame cu model dintr-o bucată.

grosime de 25—30 mm care se îndeasă manual. Se completează rama cu amestec de umplere, care se îndeasă cu bătătorul. Surplusul de amestec se înlătură cu o șipcă și se execută canalele de aerisire *3*, folosindu-se o vergea din oțel.

Pentru executarea celeilalte jumătăți a formei, rama *2* se întoarce cu 180° (fig. 33.5, *b)* și pe suprafața de separație se presară praf de licopodium.

Deasupra ramei *1* se așază rama *7*, care se centrează cu ajutorul tijelor *6*. De suprafața de separație a formei se așază modelele piciorului de turnare *9*, al canalului de distribuție *10* și al răsuflătorului *8*. În rama *7* se introduce mai întîi amestec de model, care se îndeasă cu mîna, apoi amestec de umplere pînă la completarea ramei. Amestecul de formare se îndeasă cu bătătorul începînd de la pereții ramei spre centru. Se îndepărtează cu o șipcă surplusul de amestec, se execută canalele de aerisire *11* (fig. 33.5, *c*) pîlnia de turnare *12* și cupa *13* a răsuflătorului. În vederea scoaterii modelelor *8* și *9* ale rețelei de turnare, suprafața amestecului învecinată cu aceste modele se umezește ușor cu o pensulă înmuiată în apă.

În vederea demulării, ramele de formare se desperechează. Rama superioară *7* se așază cu suprafața de separație în sus. Pentru ca la scoaterea modelului să nu se deterioreze marginile formei, pereții acesteia se umezesc, după care se aplică cîteva lovituri ușoare, cu un ciocan de lemn, modelului *10* și modelului piesei *1*, în scopul desprinderii lor de amestecul de formare. Modelele se scot din formă cu ajutorul unui cîrlig *14*.

Suprafața cavității se pudrează cu pudră de protecție, după care ramele se asamblează în vederea turnării și se balastează cu greutățile *15* (fig. 33.5, *d*).

În figura 33.6 este reprezentată formarea în solul turnătoriei cu șablon de rotație pentru o roată. În solul turnătoriei se execută o groapă în care se introduce rama de formare *1* (fig. 33.6, *a*). Pe aceasta se așază suportul *2* în care se fixează axul *3*. După ce se verifică verticalitatea axului *3* cu nivela de apă *7*, așezată pe brațul *6*, suportul se acoperă cu pămînt, după care se pune un strat de cocs pentru evacuarea gazelor.

În scopul executării tiparului pentru jumătatea superioară a formei, șablonul *8* se fixează pe brațul *6* prin intermediul inelului *4*. Șablonul se rotește de cîteva ori, după care axul *3* se îndepărtează, iar orificiul rămas se astupă cu amestec de formare. Se finisează pereții cavității și se execută suprafața de separație care se pudrează cu licopodium.

Pe suprafața de separație se așază rama *10* (fig. 33.6, *b*), centrată prin intermediul cornierelor *9*. În aceasta se introduc modelele *11*, *12* și *13* ale rețelei de turnare, după care se îndeasă amestecul de formare. Pentru consolidarea pereților formei se folosesc armăturile *14*. Se îndepărtează modelele rețelei de turnare și se ridică rama de formare *10*.

Se introduce din nou axul *3* (fig. 33.6, *c*) și se montează șablonul *15* prin rotirea căruia se obține cavitatea inferioară a formei. Gaura din butucul roții se obține cu miezul *20* (fig. 33.6, *d*) fixat pe mărcile *21*. Celelalte găuri se obțin cu ajutorul miezurilor *18* sprijinite în partea inferioară cu mărcile *17*. Pentru consolidare, miezurile se armează cu cuiele *22*, iar pe pereții formei cu cuiele *16*. Forma se balastează cu greutățile *19*.

Întrucît manopera la formare cu șablonul este mai ridicată decît cea la formare cu modele, șablonarea servește ca procedeu de lucru numai la producția de unicate, cînd executarea modelului ar fi nerentabilă.

Pentru executarea manuală a miezurilor se folosesc cutii de miez sau șabloane. Cutiile de miez se pot executa dintr-o singură bucată sau din mai multe bucăți pentru a se ușura scoaterea modelului.

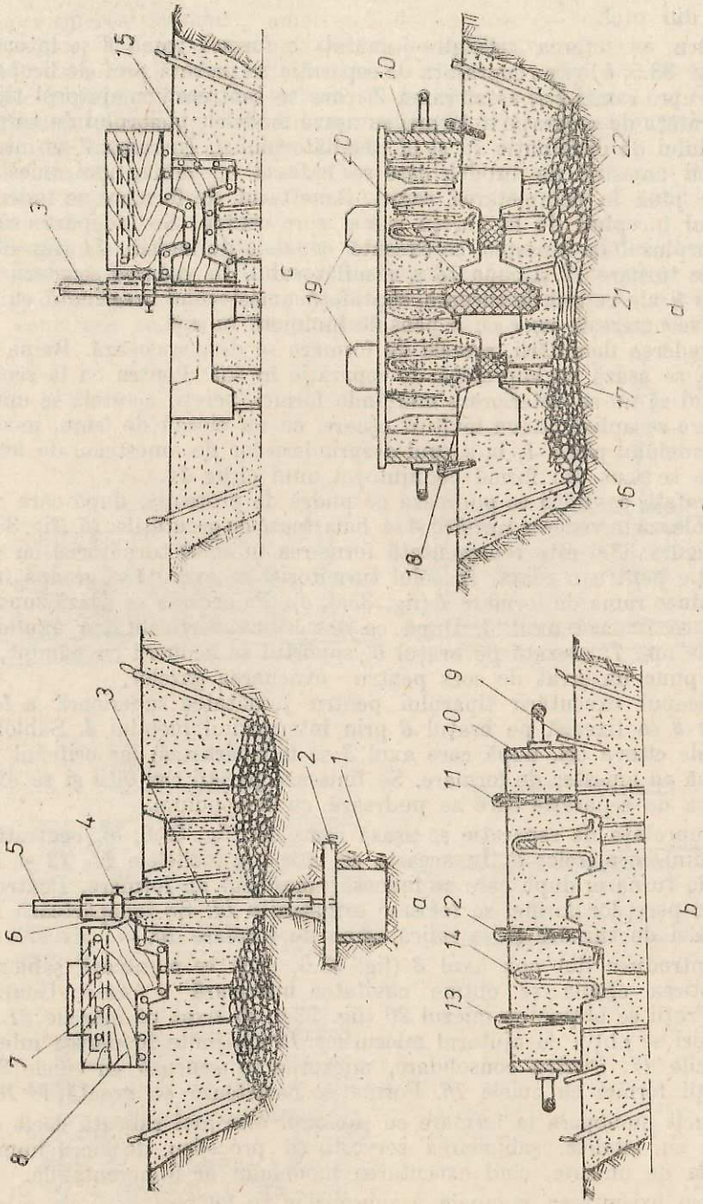


Fig. 33.6. Formarea prin șablonarea de rotație cu ax vertical.

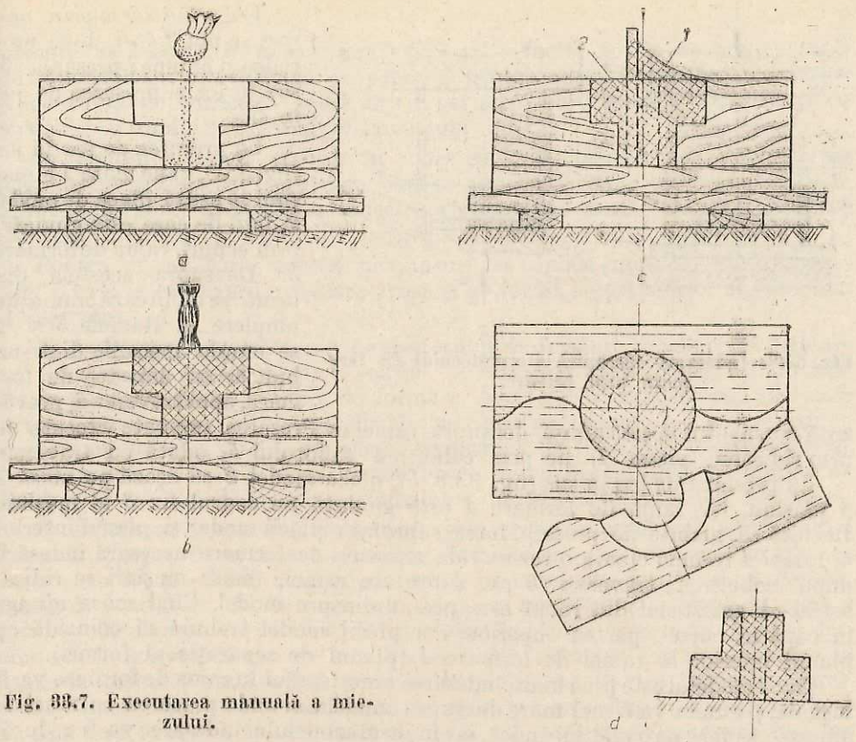


Fig. 33.7. Executarea manuală a miezului.

Executarea manuală a unui miez este reprezentată în figura 33.7. Cutiile de miez se pudrează cu licopodium (fig. 33.7, *a*) după care se asamblează, se umple cu amestec de miez care se îndeasă (fig. 33.7, *b*) și se introduce armătura *1* (fig. 33.7, *c*). Cu o vergea se execută canalele de aerisire *2*, după care cutia de miez se așază pe o placă și împreună se întoarce cu 180°. Apoi se demontează cutia (fig. 33.7, *d*) și se scoate miezul.

3. Formarea mecanică

Prin formare mecanică se înțelege executarea formelor la care amestecul de formare se îndeasă cu ajutorul mașinilor. La cele mai răspîndite tipuri de mașini de format și demularea se execută tot mecanic cu ajutorul unor mecanisme auxiliare ale mașinii.

Principalele avantaje ale formării mecanice sînt: creșterea productivității, uniformizarea calității pieselor turnate prin îndesarea egală a amestecului în rame de formare, identitatea dimensională a pieselor, reducerea efortului fizic depus de muncitori etc.

Formarea mecanică impune însă, în afara mașinilor de format, un număr însemnat de dispozitive ca: modele metalice, plăci de model, rame de construcție specială etc., care fac ca procedeul să fie rentabil numai în cazul producției în serie mare și în masă.

Îndesarea mecanică în ramele de formare se poate executa prin presare, prin scuturare sau prin aruncare centrifugă.

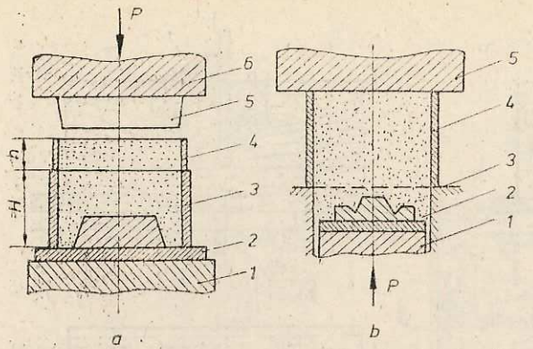


Fig. 33.8. Îndesarea mecanică a amestecului de formare prin presare.

1) *La îndesarea prin presare* se pot folosi două procedee şi anume: presarea de sus în jos şi presarea de jos în sus.

La presarea de sus în jos (fig. 33.8, *a*) pe masa *1* a maşinii se aşază placa de model *2*, faţă de care este ghidată, prin cepuri, rama de formare *3*. Deasupra acesteia din urmă se montează rama de umplere *4*. Ramele *3* şi *4* se umplu mecanic dintr-un buncăr cu amestec de formare, apoi traversa *6*, prevăzută cu sabotul *5*, este adusă deasupra ramelor. Presarea se poate executa fie prin ridicarea mesei *1*, fie prin coborîrea sabotului *5*, odată cu traversa.

La presarea de jos în sus (fig. 33.8, *b*), placa-model *2* se aşază pe masa *1* a maşinii, iar rama de formare *4* este ghidată pe cadrul fix *3* al maşinii. Rezultă că, înainte de presare, între suprafaţa plăcii model şi planul interior al ramei *4* trebuie creată o rezervă de amestec de formare necesară îndesării după coborîrea traversei *5* pe suprafaţa ramei, masa maşinii se ridică, astfel că amestecul din ramă este presat dinspre model. Cînd masa ajunge la capătul cursei, partea superioară a plăcii model trebuie să coincidă cu planul inferior al ramei de formare *4* (planul de separaţie al formei).

Dacă modelul este prea înalt, îndesarea amestecului în rama de formare va fi inegală, şi anume va fi mai mare deasupra modelului unde presarea coloanei de amestec se face pe o înălţime mică, iar în jurul modelului îndesarea va fi redusă.

Acest neajuns poate fi înlăturat prin folosirea capului de presare echipat cu pistonaşe de presare (fig. 33.9).

De asemenea, pentru realizarea unei îndesări uniforme a amestecului de formare se folosesc diafragme elastice (fig. 33.10). Cu acest sistem de

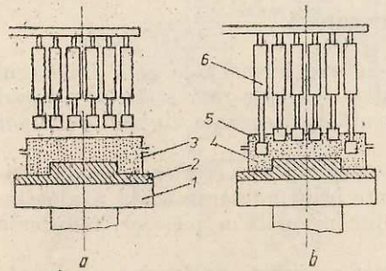


Fig. 33.9. Îndesarea prin presare cu sabot divizat:

a — înainte de presare; *b* — în timpul presării: *1* — masă; *2* — placa-model; *3* şi *4* — rame de formare; *5* — rama suplimentară; *6* — cilindrii hidraulici.

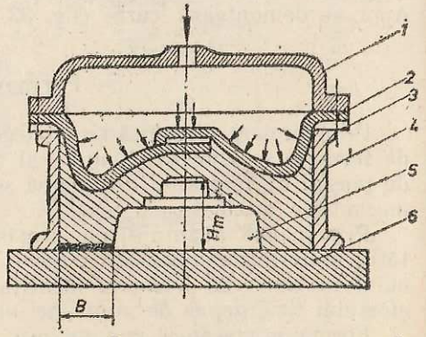


Fig. 33.10. Îndesarea prin presare cu diafragmă:

1 — corp; *2* — diafragmă; *3* — cadru; *4* — ramă; *5* — model; *6* — masa maşinii; *B* — distanţa dintre model şi ramă; H_m — înălţimea modelului.

presare se obţine o mărire de 2—2,5 ori a forţei totale de presare, faţă de o maşină cu placă rigidă de presare, pentru aceeaşi suprafaţă de model şi de ramă de formare. Acest lucru permite folosirea unor amestecuri de formare cu umiditatea şi fluiditatea mai mici.

În timpul presării clasice, în amestecul de formare apar importante forţe de frecare interne şi externe, care se opun procesului de presare. Aceste forme determină apariţia în amestec a unor însemnate tensiuni interne care pot modifica dimensiunile formei sau chiar s-o distrugă.

Pentru a înlătura aceste neajunsuri se aplică metoda vibropresării (fig. 33.11) care asigură o aşezare densă şi uniformă a particulelor amestecului de formare.

2) *Îndesarea prin scuturare* a amestecului de formare în rame de formare se execută cu ajutorul unor maşini pe a căror masă *1* (fig. 33.12) sînt fixate placa de model şi rama de formare. Acestea sînt ridicate sub acţiunea aerului comprimat care este dirijat pe faţa pistonului *2*. Cînd se atinge cursa maximă (fig. 33.12, *b*), aerul comprimat din cilindrul *3* este evacuat în atmosferă, astfel că masa revine brusc în poziţia iniţială lovindu-se de opritorii *4* (v. fig. 33.12, *a*) producîndu-se îndesarea amestecului din ramă.

3) *Îndesarea amestecului de formare prin aruncare centrifugă* (fig. 33.13) a acestuia. Corpul de aruncare centrifug este alcătuit din carcasa *1* în care se roteşte cu 1 500—2 000 rot/min un ax *2*, pe care este fixată cupa demontabilă *4*. Amestecul de formare este adus cu ajutorul unei benzi în cupa *4* printr-o deschidere *3* executată în carcasă. Cînd cupa trece prin dreptul deschiderii *5*, amestecul din ea este aruncat sub acţiunea forţei centrifuge în rama de format *6* unde se îndeasă şi se umple rama. Pentru îndesarea amestecului în orice parte a ramei, capul de aruncare centrifug se montează pe o maşină de formare la 1—2 m înălţime de la sol, putîndu-se manevra în plan orizontal deasupra ramei.

Miezurile se pot executa mecanic pe maşini cu ajutaj, prin scuturare şi prin suflarea amestecului.

Maşinile cu ajutaj pot fi cu şurub sau cu piston; ele se folosesc la executarea miezurilor mici cu secţiunea constantă pe toată lungimea. Aceste maşini sînt echipate cu cîte o garnitură de tuburi calibrate care servesc ca cutii de miez. Miezurile executate pot fi de secţiune rotundă, ovală, dreptunghiulară sau cu alte forme.

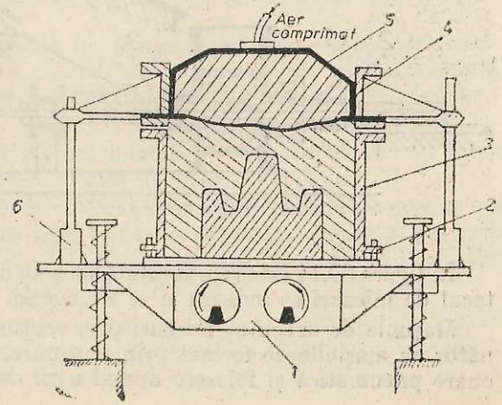


Fig. 33.11. Schema procedeului de vibropresare:

1 — vibrator; *2* — placă-model; *3* — ramă; *4* — ramă de umplere; *5* — pernă de aer; *6* — cilindru hidraulic.

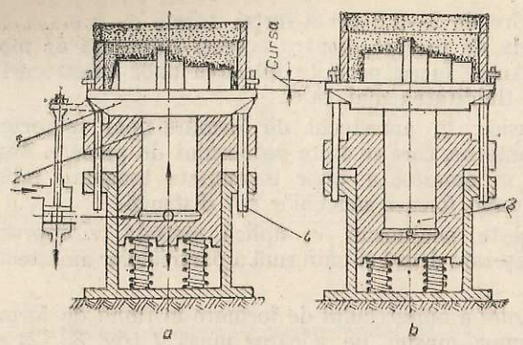


Fig. 33.12. Schema mașinii de îndesat amestec de formare prin scuturare.

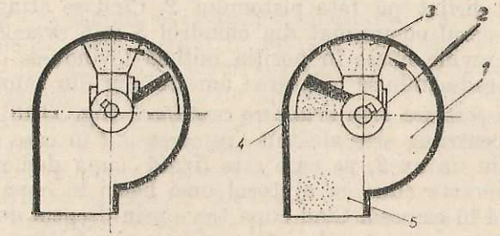
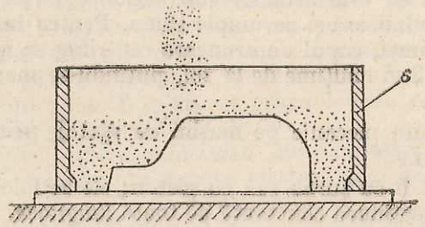


Fig. 33.13. Schema îndesării amestecului de formare prin aruncare centrifugă.



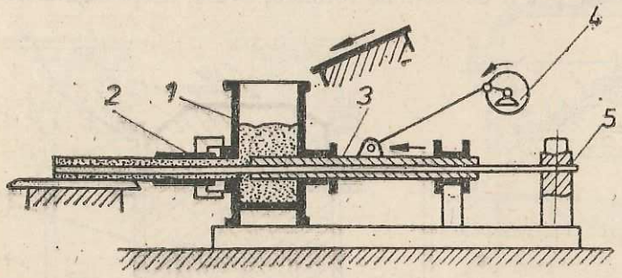


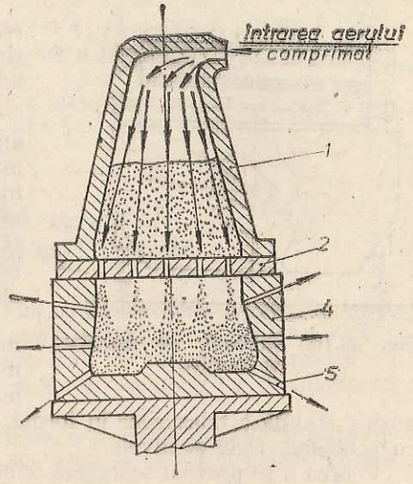
Fig. 33.14. Schema mașinii de miezuit:
1 — rezervor; *2* — ajutaj; *3*—piston; *4* — sistem de acționare; *5* — dorn.

În figura 33.14 este reprezentată mașina de miezuit cu piston, la care amestecul de miezuri se îndeasă și se evacuează prin ajutaj, sub forma de miez.

Mașinile de executat miezuri prin scuturare funcționează în mod asemănător cu mașinile de format prin scuturare. Ele lucrează, de obicei, cu acționare pneumatică și folosesc numai cutii de miez demontabile.

Pentru executarea miezurilor la producția în masă, se folosesc mașinile de miezuit cu suflarea amestecului cu aer comprimat la 6—7 bar într-o cutie cu miezuri.

În figura 33.15 este reprezentată schema de îndesare a miezului prin suflarea amestecului. Mașina are un rezervor *1*, umplut periodic cu amestec; de acest rezervor se fixează în partea de jos o placă *2* sub care se așază cutia *4*. Pentru evacuarea aerului utilizat, în cutia de miez se execută canalele de aerisire *5* închise cu o sită deasă. În cazul folosirii unei plăci universale *3*, aceasta este prevăzută, în afara găurilor de suflare, și cu canalele de aerisire *6*.



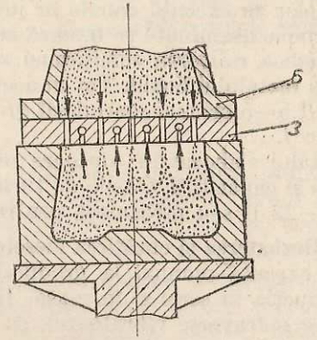


Fig. 33.15. Principiul de executare a miezurilor prin suflare de amestec.

4. Operații ulterioare executării formelor și a miezurilor

a. Uscarea formelor și a miezurilor. Formele executate pentru turnarea pieselor mari și a pieselor cu pereți subțiri se folosesc în stare uscată; în celelalte cazuri formele se pot întrebuința în stare crudă (neuscate).

Miezurile se montează în forme aproape totdeauna în stare uscată.

Formele și miezurile uscate au o permeabilitate mai bună, capacitate mai mică de a genera gazele și o rezistență mai ridicată. Pentru uscare, formele și miezurile se încălzesc la o anumită temperatură pentru eliminarea apei și mărirea capacității de liere a argilei și a celorlalți lianți.

Temperatura de uscare depinde de mărimea și configurația formelor și a miezurilor și de natura liantului. Astfel, miezurile executate cu lianți organici se usucă la 180—270°C, iar formele și miezurile executate din amestecuri cu argilă la 270—350°C.

Durata de uscare a formelor variază între 10 și 40 h, în funcție de dimensiunile lor, iar durata de uscare a miezurilor între 1 și 15 h.

Uscarea se execută în cuptoare cu funcționare periodică sau continuă prin care circulă gazele arse fierbinți care vin în contact cu formele și miezurile. Formele mari se pot usca direct și cu flacăra de gaz obținută de la un arzător mobil, care este orientat spre forma de uscat.

De asemenea, se pot folosi uscătoarele electrice, cu elemente de încălzire din sîrmă sau cu lămpi infraroșii, care usucă bine fără să producă gaze nocive. Lămpile infraroșii se montează pe cadre mobile, cîte 30—50 buc., iar pute-

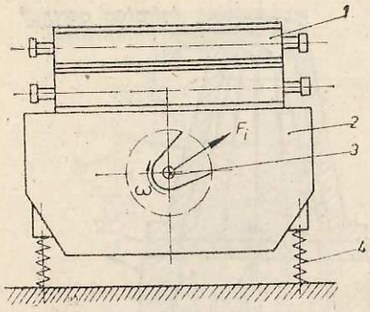


Fig. 33.16. Grătarul de dezbatere cu inerție.

rea unei lămpi este de 250—500 W. În timp de 10 min forma se usucă pe o adîncime de 4—8 mm.

b. **Asamblarea formelor și turnarea aliajului.** Prin asamblarea formelor se înțelege îmbinarea tuturor elementelor formei de turnare într-un întreg. Elementele componente ale formei sînt: jumătățile formei, miezurile, elementele rețelei de turnare și elementele sistemelor de alimentare.

După controlul cavității formei, se montează miezurile în mărci; în cazul miezurilor mari se folosesc diferite suporturi metalice pentru a se asigura o poziție stabilă a miezurilor în formă. Poziția corectă a miezurilor se verifică cu șabloane, rigle și nivele.

Pentru a se preveni scurgerea metalului lichid în suprafața de separație a formelor se execută canale în jurul cavității în care se introduce argila.

Formele asamblate se fixează cu șuruburi, scoabe sau alte sisteme pentru a împiedica ridicarea semiformei superioare sub acțiunea presiunii metalostatice a metalului lichid. Tot în acest scop, pe formele asamblate se pun greutăți de 1,5—5 ori mai mari decît greutatea piesei turnate (operația se numește *balastare*).

Metalul elaborat în cuptoare se toarnă în forme cu oale de diferite construcții și capacități. Oalele de turnare se pot manevra manual (cu capacități de 0,5—22 l) sau mecanizat pentru capacități mai mari.

c. **Dezbaterea și curățirea pieselor turnate.** Dezbaterea formelor și miezurilor se execută manual la producția individuală și pe instalații mecanizate la producția în serie și în masă. Instalațiile mecanizate pot fi: prin vibrare (grătare și traverse vibratoare), cu inerție (mese de dezbatere cu șoc) și prin presare.

În figura 33.16 este reprezentat schematic grătarul de dezbatere cu inerție. Formele de turnare *1* se așază pe partea mobilă a grătarului *2* care se reazemă pe arcuri elicoidale *4*. Axul inerțial *3* este pus în mișcare de un motor electric prin intermediul curelelor trapezoidale.

După dezbaterea piesei turnate se îndepărtează maselotele, rețelele de turnare, răsuflătoarele și eventualele bavuri care pot apărea în suprafața de separație. Apoi piesele se supun operației de curățire care poate fi efectuată manual sau mecanic.

În cazul procedeului manual, suprafețele pieselor se curăță cu perii de sîrmă și se îndepărtează toate neregularitățile cu dalta de mînă sau pneumatică.

Curățirea mecanică se execută în tobe de curățire și în instalații cu jet de alice.

Tobele de curățire au secțiunea circulară, pătrată sau hexagonală cu diametrul de 1—1,15 m și lungimea de 1,5—2 m. Ele sînt acționate de motoare electrice, prin transmisii cu curea sau cu angrenaje, avînd turația de 20—60 rot/min.

Piesele se încarcă în tobe, împreună cu bucăți de oțel de formă sferică, poliedrică sau de steluțe. Prin frecarea pieselor una de alta (la rotirea tobei) și prin frecarea lor de steluțe, piesele se curăță de amestecul de formare.

Tobele se folosesc la curățirea pieselor mici și mijlocii; durata de curățire este de 1,5—2 h. Instalațiile de curățire cu jet de alice pot fi cu masă rotativă pentru piese mici sau cu transportor pentru piese mijlocii la producția în serie.

În cazul pieselor mari și pentru scoaterea miezurilor se folosesc instalații de curățire cu apă sub presiune la 35—200 bar.

5. Executarea formelor temporare din amestecuri cu proprietăți speciale

În ultimii ani există o tendință de dezvoltare a metodelor noi de turnare în forme temporare. Din practica industrială s-a constatat că utilizarea metodelor speciale de turnare permite ca în construcția de mașini să se micșoreze cheltuielile de fabricație cu 30—40%, iar volumul prelucrărilor mecanice cu 50—70%.

Factorul principal care frînează dezvoltarea metodelor speciale de turnare este seria de fabricație relativ mică a pieselor care se pretează pentru aceste tehnologii.

Dintre formele temporare din amestecuri cu proprietăți speciale frecvent executate în producție se menționează:

— forme coji cu rășini termoreactive;
— forme coji cu modele fuzibile;
— forme întărite cu bioxid de carbon.

a. **Forme coji cu rășini termoreactive.** Aceste forme înlocuiesc ramele cu amestecul de formare cu două coji subțiri de amestec refractar, avînd rezistența mecanică și permeabilitatea mari, care urmăresc îndeaproape configurația piesei.

Metoda se caracterizează prin consum redus de materiale de formare, productivitate ridicată, procent mic de rebuturi și cost relativ scăzut al manoperei. Piesele turnate prin această metodă au suprafață curată (înălțimea maximă a asperităților este de 30—60 μm); abaterile lor dimensionale fiind de ordinul ± 0,2 mm, iar adaosurile de prelucrare folosite au valori mici.

Ca dezavantaje ale acestei metode se menționează costul ridicat al rășinilor sintetice și prin urmare și al formei și insuficienta rezistență a formei la contactul cu metalul lichid, fapt ce determină micșorarea preciziei dimensionale a pieselor turnate.

Pentru executarea cojilor se folosesc următoarele materiale:

— nisipuri cuarțoase de granulație fină, avînd un conținut în componentă levigavilă sub 0,9%;

— rășini sintetice, novolacul și bachelita, care îndeplinesc rolul de liant.

La executarea formelor coji se folosesc plăci de model din aluminiu sau din fontă pe care se fixează modelele executate din același material.

Principalele operații tehnologice pentru executarea formelor coji cu rășini termoreactive sînt:

a) *Pregătirea plăcilor model*, care constă în:

— încălzirea plăcilor model într-un cuptor electric cu rezistența pînă la 300—350°C.;

— ungerea suprafețelor modelului cu stearat de calciu sau de aluminiu, pentru a împiedica aderența amestecului de formare la model.

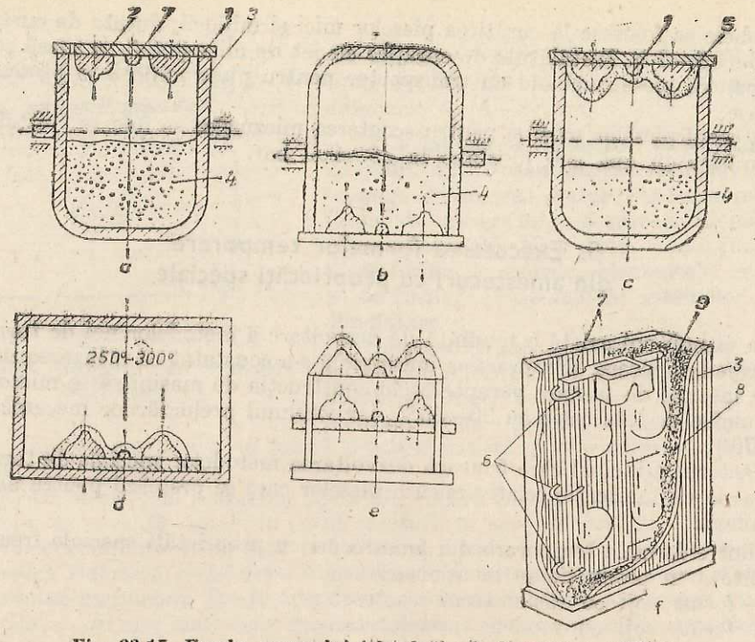


Fig. 33.17. Fazele procesului tehnologic de formare a cojilor:
1 — placă model; *2* — model; *3* — recipient; *4* — amestecul de formare; *5* — coaja semidură; *6* — bride de fixare; *7* — rețea de turnare; *8* — rama de formare; *9* — alice de fontă.

b) *Formarea cojilor* (fig. 33.17) constă în:

— așezarea plăcii model pe un rezervor în care se află amestec de formare și liant termoreactiv (fig. 33.17, *a*);

— răsturnarea rezervorului cu 180° și vibrarea timp de 15—20 s (fig. 33.17, *b*) pentru a facilita aderarea amestecului la model;

— readucerea recipientului în poziție inițială (fig. 33.17, *c*);

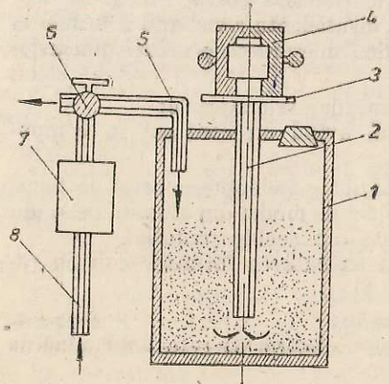


Fig. 33.18. Schema suflării miezurilor cave.

— introducerea asamblului placă model-coajă crudă într-un cuptor unde se ține, la 250—300°C, timp de 3—5 min, pentru întărirea cojii (fig. 33.17, *d*);

— scoaterea cojilor de pe model (fig. 33.17, *e*), asamblarea două cîte două prin lipire și așezarea lor în rame de formare umplute cu alice pentru mărirea preciziei dimensionale a pieselor turnate (fig. 33.17, *f*), se pretează cu ușurință la mecanizare și automatizare.

Pentru executarea miezurilor se folosesc cutii de miez executate din aliaje de aluminiu, în care se suflă amestecul (fig. 33.18). Cutia de miez *4*, încălzită la 250°C, este apăsată de suportul *3*, prevăzut cu un orificiu calibrat. Prin robinetul *6*,

aerul comprimat la 2—4 bar trece, prin conducta *8*, filtrul *7* și țeava *5*, în recipientul *1*, determinînd amestecul termoreactiv să fie sulfat prin conducta *2* pe pereții cutiei de miez 4. Se întrerupe suflarea, iar aerul comprimat din recipient se evacuează în atmosferă. Apoi cutia împreună cu miezul cav se încălzesc la o temperatură de 300—350°C în vederea întăririi miezului.

b. **Forme coji cu modele fuzibile.** Prin modele fuzibile se înțelege acele modele care se extrag prin topire.

Principalele avantaje ale acestei metode sînt:

— posibilitatea obținerii unor piese finite de configurație complexă, care nu mai trebuie prelucrate prin așchiere deloc sau parțial;

— calitatea suprafețelor turnate este superioară, iar precizia dimensională este ridicată;

— posibilitatea utilizării unor aliaje greu prelucrabile prin deformare sau așchiere (aliajele refractare și aliajele dure);

— suprafața redusă a locului de muncă;

— simplitatea utilajului folosit.

Ca dezavantaj al acestei metode se amintește costul uneori ridicat al dispozitivelor de executare a modelelor fuzibile și masa relativ scăzută a pieselor ce pot fi turnate (maximum 50 kg).

Metoda se aplică unei game de piese pentru pompele de injecție ale motoarelor Diesel (Întreprinderea de mecanică fină din Sinaia), roți dințate pentru automobile și tractoare (întreprinderile din Brașov). De asemenea se folosește la obținerea paletelor de turbină ale motoarelor cu reacție, cu gaze care pot funcționa la temperaturi de 850—900°C.

Materialele de formare întrebuințate:

a) *Materialele pentru modele* se execută din amestecuri de parafină 55% și 45% stearină. Se mai pot folosi ceara de albine, cerezina sau polistiren.

b) *Materialele pentru executarea crustei* se obțin din materiale refractare constituite din făină de cuarț (marșalita), nisip cuarțos și ca liant se folosește silicatul de sodiu.

De asemenea, se mai utilizează și clorura de amoniu ca fixator.

Modelele se execută prin injectarea în matrițe a materialelor ușor fuzibile în stare păstoasă. Matrițele se execută din aliaje de aluminiu, aliaje de staniu sau din materiale nemetalice (dentacryl). Pentru turnarea pieselor mici, modelele se montează sub formă de ciorchine pe piciorul de turnare (fig. 33.19).

Ciorchinele se scufundă într-o baie de vopsea, se presară cu nisip și apoi se introduce într-o soluție de clorură de amoniu unde se menține 1—3 min, avînd loc reacția:

$$Na_2O \cdot mSiO_2 + 2NH_4Cl = m\ SiO_2 + 2NaCl + 2NH_3 + H_2O \quad (33.6)$$

Bioxidul de siliciu coloidal rezultat din reacție leagă granulele de nisip, formînd un strat refractar dur. Pentru a se realiza grosimea necesară a crustei, ciorchinele se acoperă cu 3—6 straturi refractare. După executarea formelor, acestea se lasă să se întărească în aer 2—30 h.

În continuare se evacuează modelul, formele coji se calcinează la temperatura de 900°C, pentru mărirea rezistenței mecanice, după care se toarnă metalul cînd prin răcire formele au atins o temperatură de 600—700°C.

După turnare, ciorchinele se răcesc timp de 45—60 min și apoi se înlătură crusta ceramică.

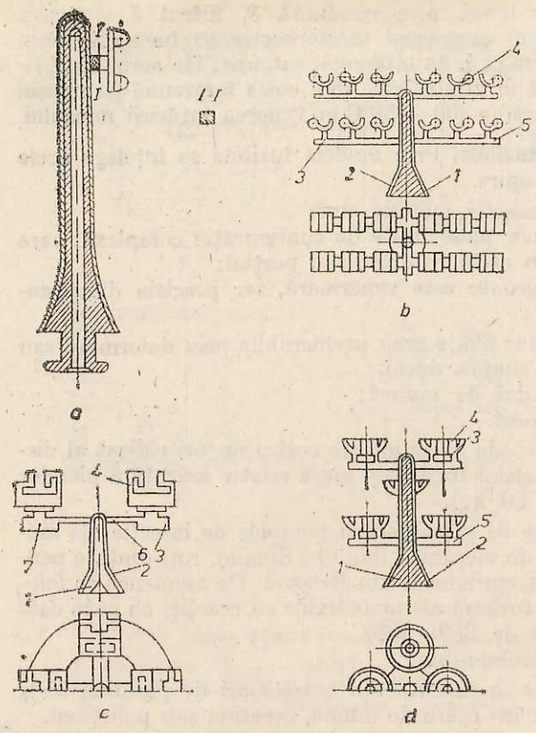


Fig. 33.19. Sisteme de fixare a ciorchinelor pe piciorul de turnare:

a — alimentare direct de la piciorul pîlniei; *b* — prin canal de distribuție; *c* — prin inel; *d* — prin disc; *1* — tijă; *2* — învelișul fuzibil; *3* — canal de alimentare; *4* — piesa turnată; *5* — colector de zgură; *6* — canal de distribuție; *7* — alimentator.

c. **Forme din nisip cu sticla solubilă întărite cu bioxid de carbon.** Pentru a se elimina operația de uscare, care prelungește durata procesului tehnologic de obținere a pieselor turnate, se folosește sistemul de întărire a formelor și a miezurilor cu bioxid de carbon, cînd liantul este constituit din sticlă solubilă.

În cazul amestecului de formare cu sticlă solubilă la suflarea bioxidului de carbon are loc reacția:

$$Na_2SiO_2 + CO_2 \longrightarrow Na_2CO_3 + SiO_2 \quad (33.7)$$

Prin hidratarea bioxidului de siliciu liber se produce gelul de acid silicic, după reacția:

$$mSiO_2 + nH_2O \longrightarrow mSiO_2 \cdot nH_2O \quad (33.8)$$

Bioxidul de siliciu hidrat se dizolvă în sticla apoasă sau în soluția de Na_2CO_3 pe grăunte de nisip, formîndu-se pelicule semisolide pînă la solide.

Gelul de acid silicic nu se produce în toată masa amestecului, în rest se formează gelul de silicat de sodiu care este mult mai rezistent și mai elastic.

Suflarea cu bioxid de carbon se poate executa înainte de demularea modelului sau după demulare și finisarea formei.

În figura 33.20 este reprezentat schematic procedeul de întărire cu CO_2 a formelor finisate. CO_2 este adus de la butelie prin tubul de cauciuc *1* montat în robinetul *2*. Prin deschiderea robinetului, CO_2 trece în hota *3* așezată, prin intermediul unui cadru de lemn *4* și a garniturilor *5*, pe rame în care se află amestecul de formare *6*.

Presiunea de lucru la suflarea cu CO_2 este cuprinsă între 1 și 2,5 bar.

Pentru întărirea miezurilor, bioxidul de carbon se suflă prin canale speciale executate în cutii sau dacă este posibil prin orificiul central al miezurilor.

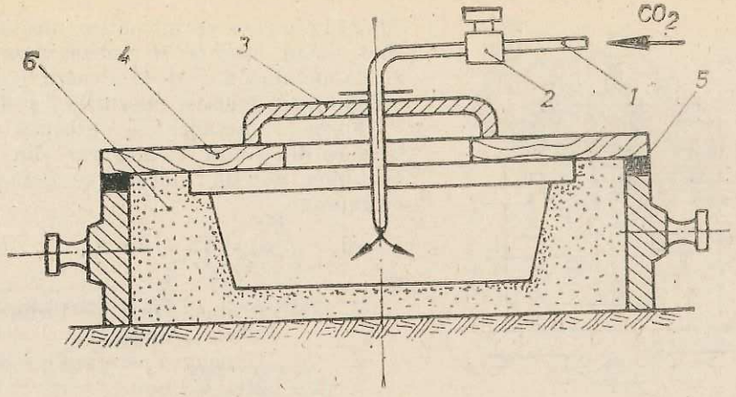


Fig. 33.20. Schema întăririi formelor cu CO_2.

B. FORME PERMANENTE PENTRU TURNAREA PIESELOR

Turnarea în forme permanente, în comparație cu turnarea în forme temporare, prezintă următoarele avantaje:

— îmbunătățirea calității pieselor turnate;
— precizia mai mare a dimensiunilor pieselor turnate;
— mărirea productivității de piese bune, pe metru pătrat de suprafață utilă, de 3—6 ori;
— reducerea maselotelor sau chiar eliminarea lor completă.

Procedeul prezintă și unele dezavantaje:

— cost ridicat al formelor permanente; de aceea nu sînt indicate decît la producția în serie mare sau în masă;
— dificultăți la turnarea pieselor cu pereți, din cauza micșorării fluidității;
— tendința de formare a crăpăturilor, datorită lipsei de compresibilitate;
— durificarea suprafețelor pieselor turnate din fontă datorită conductibilității mari a formelor metalice.

Metoda de turnare în forme permanente continuă să se dezvolte pentru piesele în serie mare și în masă; principalele procedee de turnare în forme permanente sînt: turnarea centrifugă, în cochilie sub presiune, în vid și continuă.

1. Forme permanente pentru turnare statică

Formele permanente statice se execută din două bucăți pentru piese simple și din cîteva părți demontabile, după planele de separație, pentru piese mai complicate.

Pentru obținerea golurilor interioare ale pieselor din fontă și oțel se folosesc, de obicei, miezuri din amestec de miez, iar la turnarea pieselor din aliaje neferoase, miezuri metalice.

În figura 33.21 este reprezentată o formă folosită la turnarea pistoanelor din aliaje de aluminiu. Corpul formei este alcătuit din trei părți demontabile

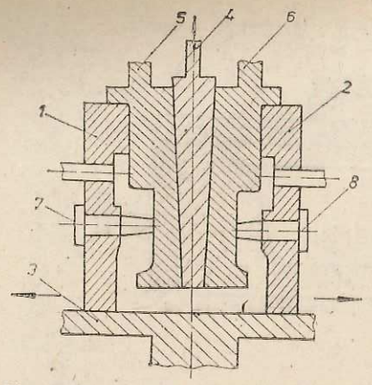


Fig. 33.21. Cochilie pentru turnarea aliajelor de aluminiu în pistoane:
1, 2 — semiforme; *3* — placă de bază; *4, 5, 6, 7, 8* — miezuri metalice.

(1, 2, 3) în care se introduce metalul lichid. Golul interior se realizează cu miezurile metalice *4, 5* și *6*. Pentru golurile orizontale se folosesc miezurile *7* și *8*.

Formele metalice se execută prin turnare din fontă și mai rar din oțel. Grosimea pereților formei se determină cu relația:

$$d_2 = 13 + 0{,}6\, d_1, \qquad (33.9)$$

în care:

d_2 este grosimea pereților formei metalice, în mm;

d_1 — grosimea pereților piesei turnate, în mm.

Înainte de turnarea aliajului lichid în cavitatea formei se execută următoarele operații:

— suprafețele active ale formei se acoperă cu un strat de vopsea refractară;

— preaîncălzirea formei la 100—300°C în funcție de aliajul turnat.

Piesele turnate se extrag din formă în stare caldă, imediat după solidificare pentru a permite contracția liberă la răcire.

În turnătorii cu producție în serie mare se folosesc mașini speciale de turnare în cochilii, la care sînt de obicei mecanizate următoarele operații: deschiderea și închiderea formelor, montarea și demontarea miezurilor și scoaterea pieselor turnate din forme.

2. Forme pentru turnarea centrifugă

Procedeul constă în turnarea aliajului lichid într-o formă în stare de rotație. Sub acțiunea forței centrifuge, aliajul este distribuit pe suprafața interioară a formei unde se solidifică.

Acest procedeu se aplică la turnarea pieselor cu formă de revoluție cît și a celor cu diferite configurații.

Formele pentru turnarea centrifugă sînt acționate de mașini care pot fi:
— cu rotirea formei în jurul unui ax orizontal;
— cu rotirea formei în jurul unui ax vertical;
— turnarea centrifugă indirectă.

În figura 33.22 este reprezentată mașina cu rotirea formei în jurul axului orizontal. Pentru determinarea turației mașinilor din această grupă se folosește relația:

$$n = \frac{5\,520}{\sqrt{\gamma \cdot r}}\ [\text{rot/min}], \qquad (33.10)$$

în care:

γ este greutatea specifică aliajului în stare lichidă;

r — raza exterioară a piesei de revoluție turnate, iar în figura 33.23 este reprezentat principiul de acționare a mașinii cu rotirea formei în jurul unui ax

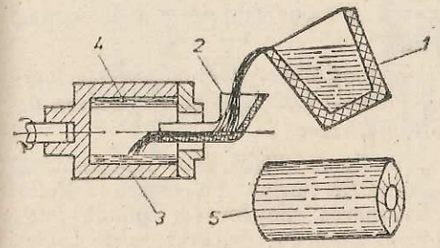


Fig. 33.22. Turnarea centrifugă cu rotirea formei în jurul unui ax orizontal:
1 — oală de turnare; *2* — pîlnie; *3* — formă metalică; *4* — aliajul lichid; *5* — piesă turnată.

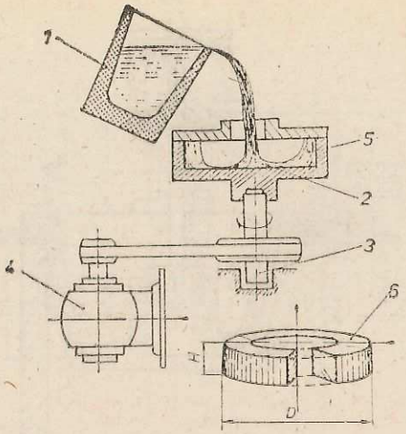


Fig. 33.23. Turnarea centrifugă cu rotirea formei în jurul unui ax vertical:
1 — oală de turnare; *2* — formă metalică; *3* — ax; *4* — motor electric; *5* — aliajul lichid; *6* — piesa turnată; *H* — înălțimea piesei; *D* — diametrul piesei.

vertical. Turația mașinilor din această grupă se determină, pentru piese cu $H < \frac{D}{2}$, cu relația:

$$n = K\sqrt{H}\ [\text{rot/min}]. \qquad (33.11)$$

În relația 33.11, K este un coeficient care se determină cu relația:

$$K = \frac{423}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2}}, \qquad (33.12)$$

în care:
H este înălțimea piesei turnate, în cm;
D — diametrul exterior al piesei turnate, în cm;
r_1 și r_2 — razele interioare ale piesei turnate (fig. 33.24).

3. Forme permanente pentru turnarea sub presiune

Procedeul constă în injectarea sau presarea aliajului topit într-o formă metalică (matriță) din oțel. Turnarea sub presiune se aplică la producția în serie mare sau în masă datorită costului ridicat al matrițelor.

Piesele realizate prin acest procedeu au suprafețe netede și curate, reproduc întocmai configurația locașului matriței, prezintă o

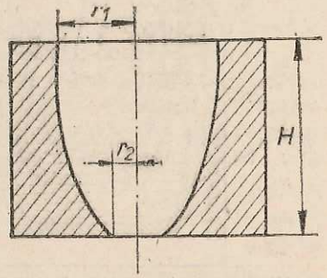


Fig. 33.24. Repartizarea aliajului lichid în timpul turnării centrifuge cu ax vertical.

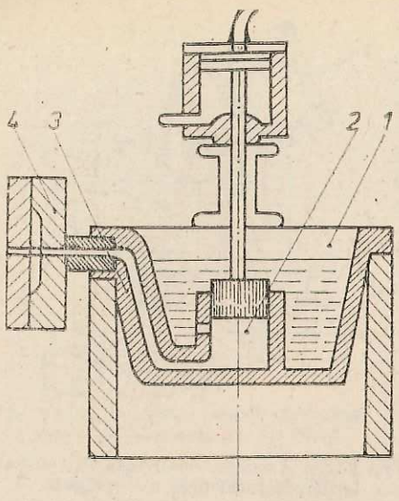


Fig. 33.25. Mașină de turnat cu piston:
1 — recipient cu metal lichid; *2* — cameră de presiune cu piston; *3* — canal de alimentare; *4* — forme de turnare.

precizie dimensională ridicată și au caracteristici mecanice superioare pieselor turnate prin alte procedee.

După presiunea utilizată la turnare, se deosebesc următoarele mașini:

— mașini de turnat cu presiune joasă (10—100 bar), care pot fi cu piston sau cu compresor și cu camera caldă;

— mașini de turnat cu presiune înaltă (100—2 000 bar) și cu camera de presiune rece.

În figura 33.25 este reprezentată mașina de turnat cu piston folosită la turnarea aliajelor (de plumb, staniu și zinc) cu temperatura de topire sub 450°C. La temperaturi peste 500°C se formează pelicule de oxizi pe piston, care împiedică funcționarea mașinii.

În figura 33.26 este reprezentată mașina de turnat cu compresor. Procedeul se folosește la turnarea aliajelor cu temperaturi joase de topire, fiind caracterizat printr-o productivitate ridicată.

Aliajul lichid se menține la temperatură constantă în vasul de fontă *1*. În acest vas se află camera de presiune mobilă *2*, acționată la fiecare umplere de un sistem de pîrghii *4*, care acționează și asupra matriței *5*. Legătura dintre camera de presiune și matriță se realizează prin ajutajul *3*.

Mașini de turnat cu presiune înaltă și cu cameră rece (fig. 33.27) se folosesc la turnarea aliajelor pe bază de cupru. Pentru transmiterea

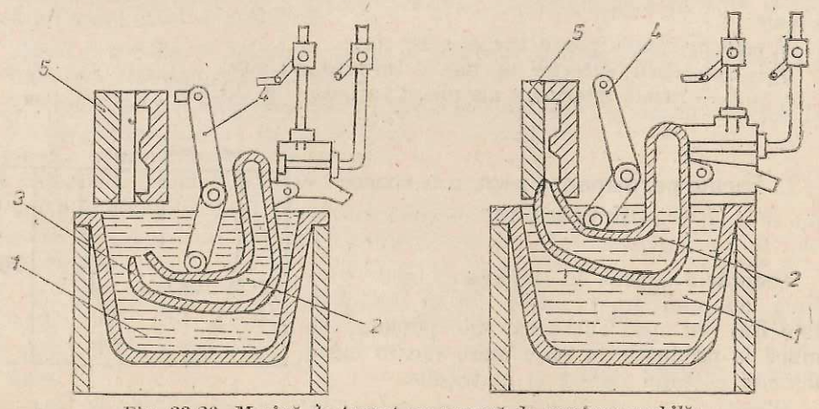


Fig. 33.26. Mașină de turnat cu cameră de presiune mobilă:
1 — recipient cu metal lichid; *2* — cameră mobilă de presiune; *3* — ajutaj; *4* — sistem de pîrghii; *5* — forma de turnare.

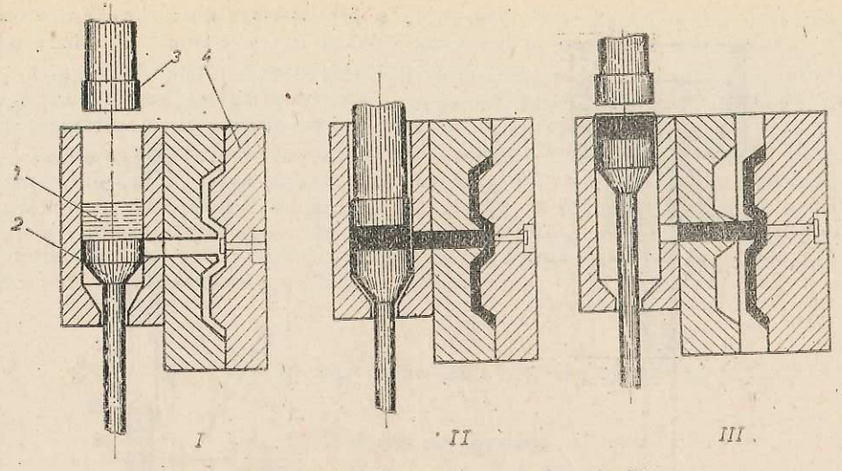


Fig. 33.27. Mașină de turnat cu presiune înaltă:
1 — piston inferior; *2* — metal lichid; *3* — piston superior; *4* — matriță.

asupra aliajului lichid a presiunii, aceste mașini pot fi acționate mecanic sau pneumatic.

În figura 33.27 este reprezentat principiul de lucru la mașină cu presiune înaltă. Astfel, în poziția *I*, metalul lichid se introduce în cilindrul *1*, în care se află pistonul inferior *2*, ce închide canalul de alimentare a formei. În poziția a *II*-a pistonul superior *3* presează metalul care pătrunde în forma *4*, dar nu mai înainte ca pistonul *2* să fie deplasat în jos pentru a elibera canalul de alimentare, iar în poziția a III-a se ridică pistonul superior, iar pistonul inferior taie bavura după care forma se deschide și se scoate piesa.

4. Forme permanente pentru turnarea continuă

Procedeul se aplică la obținerea unor semifabricate profilate: bare de secțiune cilindrică, dreptunghiulară, tuburi sau alte profile atît din aliaje feroase cît și din metale și aliaje neferoase.

În figura 33.28 este reprezentată o instalație de turnare continuă a barelor. Metalul lichid aflat într-un cuptor de așteptare *1* se introduce într-un cristalizator (o îmbinare constructivă într-o cochilă *2* și un răcitor *3*); metalul venind în contact cu pereții reci ai cristalizatorului se solidifică, iar bara *4* rezultată este coborîtă cu ajutorul dispozitivului de antrenare cu role *5*. Apa de răcire circulă prin intermediul creuzetului *6*. Diametrul exterior al barei este egal cu diametrul interior al cristalizatorului. Viteza de coborîre a barei trebuie să fie egală cu viteza de solidificare, iar aceasta cu viteza de turnare astfel încît nivelul metalului să nu varieze mult.

Cristalizatorul are o mică conicitate care împreună cu concentrația metalului la solidificare asigură coborîrea continuă a barei fără deteriorări.

Lungimea barelor turnate poate fi de 5 000—8 000 mm.

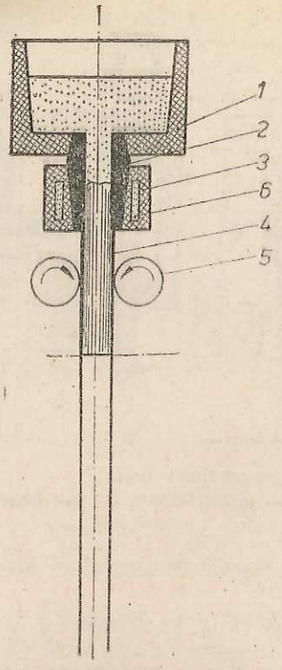


Fig. 33.28. Schema instalației pentru turnare continuă verticală.

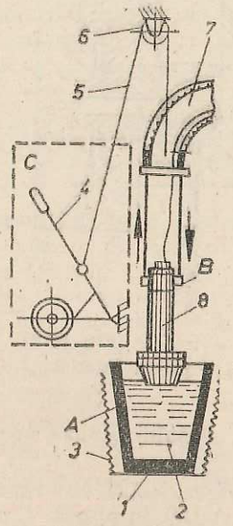


Fig. 33.29. Schema instalației pentru turnare prin aspirație.

5. Forme permanente pentru turnarea prin aspirație

La acest procedeu aliajul lichid pătrunde în cavitatea formei prin aspirare sub acțiunea vidului, obținut cu ajutorul unei pompe de vid; aliajul lichid aflîndu-se inițial într-un creuzet la presiunea atmosferică.

Procedeul permite realizarea simultană a umplerii formei cu aliaj și evacuarea gazelor din aliajul lichid astfel că se evită formarea suflurilor și porozităților în semifabricatul turnat.

Instalația de turnare prin aspirație (fig. 33.29) se compune din următoarele părți principale: creuzetul de topire *A*, cristalizatorul *B* și mecanismul *C* pentru ridicarea și coborîrea cristalizatorului. De asemenea, instalația mai cuprinde un dispozitiv hidraulic pentru răcirea cristalizatorului și un sistem de vid.

Piesele turnate se obțin astfel:

Cristalizatorul cu pereți subțiri *B* răcit cu apa din tubul *7* se introduce, cu ajutorul mecanismului *C* și prin intermediul unui cap inelar *8* din material refractar, în baia cu metal lichid din creuzet. Creuzetul *1* se află în interiorul unui sistem de încălzire *3*. Prin formarea vidului în cristalizator, metalul topit *2* din creuzet este aspirat în cavitatea formei. Aici aliajul cedează

căldura pereților cristalizatorului și se răcește. Procedeul permite obținerea fie a unui produs sub formă de bară compactă fie a unui produs tubular.

După solidificare, cristalizatorul se ridică din creuzet cu ajutorul pîrghiei *4* și al cablului *5*, trecut peste rola *6*, se extrage piesa turnată, iar cristalizatorul se introduce din nou în creuzet pentru turnarea piesei următoare.

Procedeul de turnare în vid prezintă următoarele avantaje: aliajul lichid umple liniștit cavitatea formei, fără stropi, astfel că se exclude posibilitatea pătrunderii peliculelor de oxizi în piesa turnată, se reduce consumul de metal întrucît lipsește rețeaua de turnare. Dezavantajul procedeului constă în productivitatea scăzută. Se aplică pentru piese de formă simplă (bucșe, inele etc.) din aliaje cu greutatea specifică redusă.

C. DEFECTELE ȘI REMANIEREA PIESELOR TURNATE

1. Defecte de turnare

Prin *defectele pieselor turnate* se înțeleg abaterile de la formă, dimensiuni, masă, aspect exterior, macro- și microstructuri, compoziție chimică și caracteristici mecanice prevăzute în standarde, norme tehnice sau în condițiile contractuale. Noțiunea de defect al piesei turnate este *convențională*, întrucît, în funcție de standardul sau norma tehnică de produs, același defect poate fi *neadmisibil*, alteori, defectul respectiv poate fi admis vizibil sau *remaniabil*.

Defecte admisibile sînt defecte superficiale care nu influențează utilizarea în bune condiții a piesei respective. Aceste defecte se înlătură în mod obișnuit prin acoperirea cu chituri și vopsele.

Defectele admisibile cu remaniere se pot înlătura printr-un procedeu tehnologic suplimentar, astfel încît piesele capătă, din punct de vedere dimensional și al caracteristicilor mecanice, valoarea prescripțiilor din normă tehnice. Remanierea pieselor nu influențează cu nimic comportarea lor corespunzătoare în serviciu.

Piesele turnate pot fi *rebutate* definitiv dacă nu îndeplinesc una sau mai multe dintre condițiile tehnice din standarde, norme tehnice sau condiții contractuale și care nu pot fi remaniate prin nici un procedeu tehnologic.

După aspect defectele pieselor turnate sînt clasificate în STAS 789-64.

De asemenea, atlasul internațional al defectelor de turnare clasifică defectele de turnare în șapte categorii de bază, iar identificarea se face de la litera *A* pînă la *G*, după cum urmează: *A* — Excrescențe metalice; *B* — Goluri; *C* — Crăpături; *D* — Defecte de suprafață; *E* — Piese turnate incomplet; *F* — Dimensiuni sau configurație necorespunzătoare; *G* — Incluziuni și defecte de structură.

Pentru fiecare categorie de defect se dau informații cu privire la: cauzele posibile de apariție și descrierea defectului precum și unele măsuri de prevenire.

În funcție de efectul pe care-l au asupra performanțelor pieselor turnate, defectele pot fi: superficiale, de neetanșeitate, de suprafață prelucrată sau neprelucrată (crăpături, sufluri, retasuri etc.) și de compoziție și structură.

2. Metoda pentru detectarea defectelor pieselor turnate

Pentru detectarea defectelor interioare de turnare se folosesc atît *metode distructive* (rupere, secționare, preluare mecanică) cît și *metode nedistructive*, și anume: cu lichide penetrante, cu pulberi magnetice, cu ultrasunete, prin atac chimic, cu presiune etc.

În cazul *metodelor distructive* un lot de piese se distruge prin secționare, spargere sau tăiere mecanică în mai multe fișii a pieselor respective pînă la descoperirea defectelor. Aplicarea acestei metode este limitată din considerente de ordin economic fiind folosită pentru determinarea cauzei apariției defectelor.

a) *Metoda substanțelor penetrante* constă în aplicarea pe suprafețele examinate a unui lichid penetrant, care pătrunde în discontinuitățile din piesa turnată, punîndu-le în evidență prin contrast, după ce se aplică un developant. Aplicarea developantului se face imediat după îndepărtarea excesului de lichid penetrant.

Metoda substanțelor penetrante (STAS 10214-75) se împarte în două categorii:

— produse penetrante colorante fluorescente sau cu alt tip de contrast;

— produse solubile în apă sau în solvenți organici sau cu postemulsionare.

Metoda substanțelor penetrante se aplică la toate tipurile de piese și din toate aliajele metalice.

b) *Metoda pulberilor magnetice* de detectare a defectelor din piesele turnate se bazează pe diferența de permeabilitate magnetică dintre masa compactă a piesei și partea cu defecte a piesei. Această metodă permite identificarea defectelor de suprafață sau din imediata apropiere a suprafeței în cazul aliajelor metalice feromagnetice.

Liniile de flux magnetic ocolesc defectele din piesă (discontinuități, incluziuni etc.), astfel că pulberea magnetică depusă pe suprafața piesei examinate indică locul, forma și dimensiunea aproximativă a defectului.

Pentru detectarea defectelor este necesar ca direcția de propagare a fluxului magnetic să fie perpendiculară pe defect (fig. 33.30). În acest scop, în controlul pieselor cu pulberi magnetice se aplică magnetizarea liniară (polară), magnetizarea circulară (transversală) și magnetizarea mixtă. În figura 33.31, *a* și *b* este reprezentat principiul magnetizării liniare.

Pulberea magnetică trebuie să fie dintr-un material cu permeabilitate magnetică mare, cum sînt oxizii de fier. Mărimea particulelor de pulbere este de 1—10 μm, în cazul procedeului umed, și de 40—400 μm, în cazul procedeului uscat. La procedeul umed pulberea magnetică se află în suspensie în petrol, apă sau ulei special.

c) *Metoda aplicării ultrasunetelor* la detectarea defectelor pieselor turnate prezintă o serie de avantaje, cum sînt: posibilitatea verificării pieselor de orice grosimi, nu necesită măsuri de protecție speciale, manevrarea ușoară a aparaturii etc.

Controlul ultrasonic se aplică la detectarea defectelor interne (incluziuni, retasuri, crăpături, sufluri etc.) la piesele turnate din oțel carbon sau oțel aliat.

Echipamentul folosit pentru încercare este constituit dintr-un *generator de ultrasunete* de frecvență înaltă, un *palpator* și *ecranul luminos*.

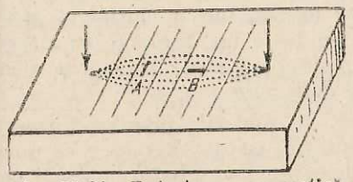


Fig. 33.30. Detectarea magnetică a defectelor:
A — defect nedetectabil; *B* — defect detectabil.

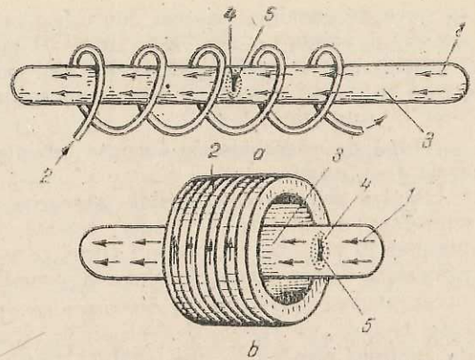


Fig. 33.31. Schema magnetizării liniare:
1 — cîmpul magnetic; *2* — bobină; *3* — piesa examinată; *4* — defectul de turnare; *5* — pulberi orientate sub acțiunea cîmpului magnetic.

Palpatorul, care, de obicei, funcționează ca un emițător și receptor, folosește principiul impuls-ecou reflectat; este utilizat la controlul tuturor tipurilor de piese.

Palpatoarele folosite la piesele turnate lucrează la o frecvență de 0,5—6,0 MHz, iar suprafața de contact dintre palpator și piesă trebuie să asigure un cuplaj corespunzător pentru a se evita reflectarea undelor ultrasonice.

Ecranul luminos este astfel executat încît urma punctului luminos pe ecran este bine definită și ușor de urmărit pe rețea rectangulară, cu scala gradată pentru măsurarea distanțelor pe ecran.

Aparatura cu ultrasunete trebuie să asigure o înălțime a ecoului obținută de la o suprafață curbată cu raza de 100 mm a blocului de etalonare potrivit STAS-ului 7802-67, de 3/4 din înălțimea ecranului în cazul unui palpator înclinat.

În figura 33.32 este reprezentată o piesă turnată cu retasură interioară, iar în figura 33.33 înregistrarea defectului pe ecran cu ajutorul unui palpator normal, cu unde longitudinale. Se observă că amplitudinea ecoului de defect este mult mai mare decît cea a ecoului de fund, adică în zona lipsită de defecte.

d) *Metoda decapării și atacării cu acid* se aplică la detectarea fisurilor pieselor turnate. Decaparea pieselor turnate se poate face cu acid sulfuric

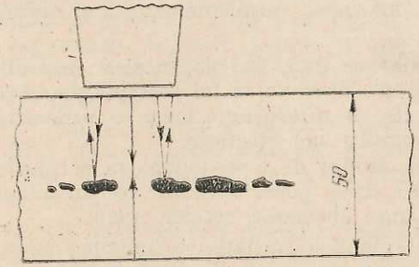


Fig. 33.32. Piesă turnată cu retasură interioară.

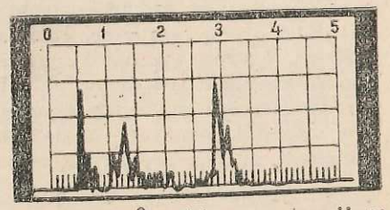


Fig. 33.33. Înregistrarea retasurii pe ecran.

în cuve de cauciuc, cu acid clorhidric în vase ceramice sau emailate. Concentrația băilor de acid este între 10 și 25%, funcție de natura aliajului turnat în piese. Astfel, piesele din oțel carbon și oțeluri slab aliate se decapează în soluții apoase cu 10% acid sulfuric și la temperatura băii de 60—80°C, timp de 1,5 h.

După decapare piesele turnate trebuie să fie spălate imediat, cu multă apă, apoi uscate.

Pentru detectarea fisurilor, atacarea este urmată de o clătire în apă, suprafața examinată se usucă repede, folosindu-se un tampon de vată înmuiat în acetonă sau alcool. După o uscare de 1—2 min, urmele de acid rămase în fisuri permit localizarea vizuală a defectelor.

e) *Metoda încercării la presiune* se aplică, în special, pieselor turnate care trebuie să reziste la verificarea etanșeității, ca de exemplu: corpuri de pompe, armăturile din oțel și fontă, elemente de radiator, cazane cu abur, piese pentru turbine etc.

La efectuarea încercării la presiune se utilizează un echipament constituit din: pompe de presiune, manometre, prese, garnituri de etanșare, conducte de legătură și o serie de ajutaje.

Încercarea se realizează cu fluide (gaze sau lichide). În scopul încercării la presiunea pneumatică se folosește, de obicei, aerul, zonele suspectate se ung cu săpun sau dacă este posibil, întreaga piesă se introduce în apă.

Proba hidraulică se aplică frecvent la detectarea defectelor pieselor turnate, folosindu-se apa cu sau fără aditiv colorant sau fluorescent.

Pe parcursul încercării la presiune, comportarea piesei turnate se examinează vizual la stingerea presiunii maxime.

3. Procedee de remaniere

Procedeele de remaniere aplicate pieselor turnate din oțel, fontă și aliaje neferoase pot fi: mecanice, metalurgice, chimice și speciale.

1) *Remanierea mecanică* cuprinde operații de curățire, îndreptare, ștemuire, știftuire, bucșare, placare etc.

a) *Curățirea* se aplică în mod curent în turnătorii având drept scop înlăturarea bavurilor, crustelor, aderențelor, arsurilor etc. Operația se execută prin dăltuire, polizare sau prelucrare mecanică.

Pentru *dăltuire* se folosesc ciocane pneumatice, având o frecvență de 1 500—2 000 lovituri/min. Dălțile folosite la înlăturarea defectelor au forme geometrice diferite, în funcție de locul, mărimea, forma defectului și natura aliajului turnat.

Polizarea se execută curent cu polizare fixă, în majoritatea cazurilor cu două discuri abrazive. În locurile greu accesibile se folosesc polizoare cu arbore flexibil, iar pentru piese turnate de dimensiuni mari se utilizează polizoare pendulare, care pot fi pneumatice sau electrice.

Prelucrarea mecanică se execută cu scopul de a se îndepărta surplusul de material, eventual unele deformații dacă piesa turnată are un adaos suficient pentru prelucrare care să asigure obținerea cotelor finale.

b) *Îndreptarea* se aplică în special pieselor turnate cu lungime mare, cum sînt: batiuri de mașini-unelte, conducte, plăci de fundație, carcase pentru corpuri de pompe etc.

Piesele turnate din oțel cu conținutul de carbon sub 0,25% și cele din fontă maleabilă, de formă simplă, se îndreaptă la rece. În cazul pieselor din oțel de formă complexă și al celor cu conținut ridicat de carbon se aplică preîncălzirea. Piesele turnate din fontă cenușie și cele din oțeluri aliate cu crom și siliciu se îndreaptă exclusiv la cald.

c) *Ștemuirea* constă în presarea sau lovirea materialului cu ajutorul unei scule în zona locului cu defect. Operația se aplică pentru înlăturarea infiltrațiilor, atunci cînd piesa este supusă în timpul funcționării unei presiuni de 1,5—3 bar.

d) *Știftuirea* se aplică pentru remanierea unor defecte interioare ca retasuri și constă în găurirea locului defect și introducerea unor știfturi sau buloane filetate.

e) *Bucșarea* este metoda de remaniere a defectelor din adîncimea piesei turnate. Operația se aplică în cazul pieselor neetanșe pe anumite porțiuni și constă în introducerea unor bucșe în zona defectă, dacă geometria piesei permite acest lucru.

f) *Placarea* se aplică pieselor turnate cu defecte de tipul incluziunilor, crăpăturilor străpunse, retasurilor sau unor părți neumplute. Remanierea constă în introducerea unor plăci sau inserții în locurile unde au fost îndepărtate porțiunile cu defecte.

2) *Remanierea metalurgică* are la bază procedeele de sudare.

Pentru operațiile de remaniere se aplică frecvent: sudarea manuală cu arc electric, sudarea sub strat de flux, sudarea în mediu protector de CO_2 (MAG) sau în mediu protector de gaz inert (MIG respectiv WIG), sudarea cu plasmă și sudarea semiautomată cu sîrma tubulară.

3) *Procedeele chimice* de remaniere se aplică pieselor turnate cu defecte pe suprafața brută (neprelucrată) și celor cu defecte interioare care produc neetanșeitate (microretasuri și porozități de contracție).

a) *Chituirea* se aplică pentru remanierea defectelor aflate pe suprafața brută și care nu influențează favorabil caracteristicile mecanice ale piesei turnate. Prin chituire se urmărește, în principal, să se confere piesei turnate un aspect corespunzător, protejînd-o totodată, într-o anumită măsură, împotriva coroziunii.

Chiturile folosite în turnătorii pot fi pe bază de rășini sintetice (rășinile epoxidice) și pe bază de lianți minerali. În ultimul caz, chitul reprezintă un amestec de praf de ipsos, fier, siliciu, făină de curat, grafit și așchii de aluminiu cu dextrină.

b) *Impregnarea* constă în refularea în piesele turnate a unor substanțe care se întăresc în zonele rarefiate ale metalului, asigurînd în acest fel menținerea presiunii exercitată din interior asupra pereților piesei în timpul exploatării. Această operație se aplică la unele piese turnate pentru pompe, turbine, motoare cu combustie internă, compresoare etc. la care nu se admit neetanșeități.

Pentru etanșarea pieselor turnate se folosesc soluții pe bază de oxid feros care se impregnează sub presiune de 6—10 bar hidroxid de fier pentru piese de importanță mică în funcționare și amestecuri bogate în silicat de sodiu.

La impregnarea pieselor turnate se folosesc și unele rășini sintetice, cum sînt: epoxidice, poliesterice, siliconice, fenol-formaldehidice. Aceste rășini se folosesc pentru etanșarea pieselor turnate care lucrează la temperaturi de pînă la 220° C și la presiuni de ordinul zecilor de bar.

4) *Procedeele speciale* de remaniere cuprind, în principal, *metalizarea* și *lipirea*.

Metalizarea se aplică pentru remanierea defectelor de turnare, cum sînt: retasurile, suflurile, incluziunile și altele. Metoda constă în depunerea prin pulverizarea metalului lichid sub presiune de 5—6 bar pe suprafața special pregătită în acest scop.

D. FORMA TEHNOLOGICĂ A PIESELOR TURNATE

Piesele turnate pot fi executate din diverse materiale și prin diferite procedee, fapt ce impune o anumită formă tehnologică și anumite dimensiuni.

1. Piese turnate în forme din amestec de formare

Pentru fiecare metal și aliaj folosit la turnarea în piese există dimensiuni optime ale secțiunilor pieselor, fapt ce permite obținerea celor mai ridicate și mai omogene caracteristici mecanice în diferitele părți ale piesei și o bună concordanță cu un procedeu specific de turnare.

Reducerea prea pronunțată a secțiunii pereților piesei diminuează capacitatea de umplere a formei cu metalul lichid, ceea ce duce la apariția fisurilor și a reprizelor în piesă.

În figura 33.34 se prezintă influența exercitată de grosimea peretelui piesei turnate asupra caracteristicilor mecanice ale oțelului carbon. Se observă că mărimea grosimii pereților influențează negativ asupra caracteristicilor mecanice. Această influență se manifestă independent de efectul segregației în diferitele secțiuni ale piesei.

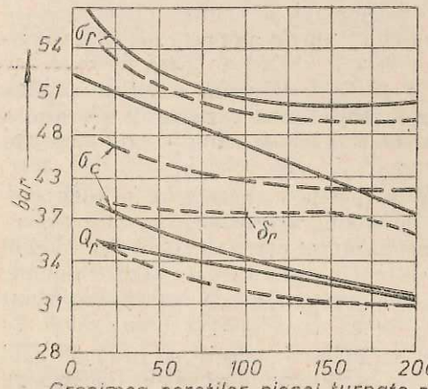


Fig. 33.34. Influența grosimii pereților piesei turnate din oțel carbon asupra caracteristicilor mecanice ale piesei:

— stare brut turnată; ... stare necoaptă; σ_c — limita de curgere; σ_r — rezistența la rupere; δ — alungirea; Q_r — rezistența la compresiune.

La elaborarea tehnologiei pieselor turnate trebuie să se țină seama de efectul contracției liniare, care are loc în timpul răcirii, astfel încît aceasta să nu împiedice micșorarea liberă a dimensiunilor. În caz contrar, apar tensiuni interne care uneori pot depăși rezistența la rupere a materialului, provocînd apariția fisurilor în piesele turnate.

În figura 33.35, *a* este reprezentată forma tehnologică greșită a unei piese turnate, cu un gol interior, prevăzut cu nervuri care împiedică contracția liberă. În figura 33.35, *b* este reprezentată aceeași piesă însă fără nervuri, fapt ce permite piesei o

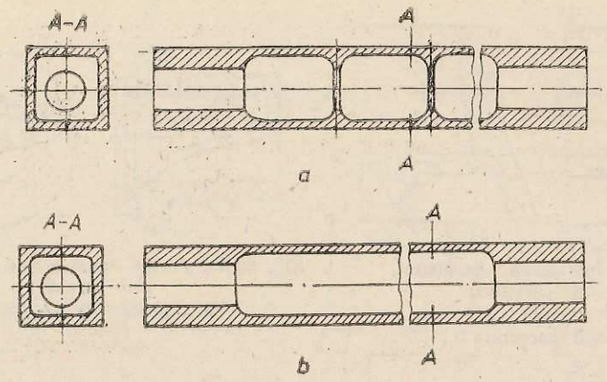


Fig. 33.35. Piesa turnată cu golul interior și secțiunea prismatică:

a — greșit; *b* — corect.

contracție liberă. Modificarea realizată nu influențează caracteristicile funcționale și de rezistență ale piesei.

La stabilirea tehnologiei pieselor turnate interesează nu numai rezistența acestora ci și mărimea deformațiilor. Astfel, piesele lungi se deformează datorită răcirii neuniforme a secțiunilor groase și a celor subțiri. Părțile pieselor cu secțiuni mai mari se răcesc mai încet devenind concave, iar cele cu secțiuni subțiri se răcesc mai repede căpătînd o formă convexă (fig. 33.36). Pentru compensarea săgeții de încovoiere datorită deformării, modelele se execută uneori cu săgeata inversă. Această modificare constructivă a modelului nu poate însă înlătura complet deformarea, întrucît deformațiile ulterioare răcirii piesei se produc într-un interval mai mare de timp.

Realizarea unor piese fără tensiuni interne impune dimensionarea corespunzătoare a secțiunilor, colțuri rotunjite, îmbinarea corectă a pereților și a nervurilor.

Piesele turnate cu colțuri interioare pot crea discontinuități în material sub formă de fisură (fig. 33.37, *a*), de aceea se folosesc raze de racordare (fig. 33.37, *b*). Dacă raza de rotunjire este prea mare, atunci se poate produce o acumulare a metalului și formarea unei fisuri (fig. 33.37, *c*). Razele de racordare trebuie să varieze între 1/6 și 1/3 din valoarea aritmetică a grosimii celor doi pereți care se racordează.

Construcția pieselor turnate trebuie să asigure eliminarea nestingherită a aerului și gazelor, deoarece în caz contrar apar defecte numite *sufluri*. Astfel, în figura 33.38, *a* este reprezentată construcția greșită a îmbinării

Fig. 33.36. Deformarea pieselor turnate în urma răcirii.

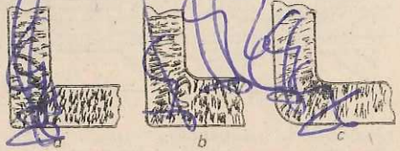


Fig. 33.37. Îmbinarea pereților piesei turnate:

a și *b* — construcții greșite; *c* — construcția corectă.

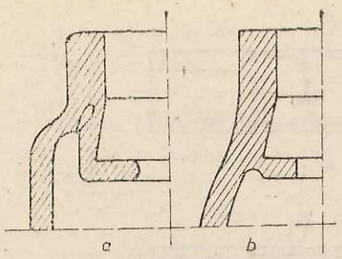


Fig. 33.38. Îmbinarea butucului cu peretele corpului:
a — construcția greșită; *b* — construcția corectă.

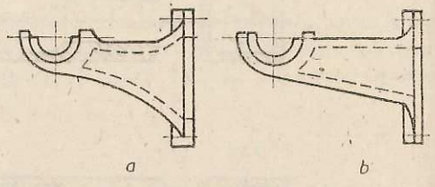


Fig. 33.39. Forme constructive ale unei console turnate:
a — greșită; *b* — corectă.

butucului cu pereții corpului care împiedică evacuarea liberă a gazelor. Construcția corectă este reprezentată în figura 33.38, *b*.

Toate părțile piesei turnate trebuie să aibă forme cît mai simple din punct de vedere geometric și cît mai avantajoase în privința executării modelelor, formelor, a curățirii și a prelucrării mecanice.

În figura 33.39 sînt reprezentate două rezolvări constructive ale unei console. Executarea unui model și a unei cutii de miez din lemn cu conturul curbat (fig. 33.39, *a*) este cu circa 30% mai scumpă decît executarea acelorași elemente cu conturul rectiliniu (fig. 33.39, *b*). La fel, executarea cutiei de miezuri pentru cavitatea *C* din figura 33.40, *a* este mult mai complicată în dreptul peretelui *d* decît pentru varianta din figura 33.40, *b* iar diferența de cheltuieli de fabricație este însemnată.

Pentru reducerea volumului de muncă la prelucrarea prin așchiere este necesar să fie aleasă corect suprafața de separație. Astfel, în figura 33.41 suprafața de separație a piesei turnate se află în planul suprafeței frontale *A*, fapt ce permite îndepărtarea surplusului de metal din turnare, concomitent cu prelucrarea suprafeței frontale. Dacă suprafața de separație se face după planul *B*, atunci este necesară o operație suplimentară pentru îndepărtarea surplusului de metal din planul de separație.

În cazul pieselor turnate care au flanșe cu margini rotunjite (fig. 33.42) atunci suprafața de separație *A—A* trebuie să treacă prin diametrul maxim al flanșei.

Pentru ușurarea demulării, suprafețele laterale ale pieselor turnate se prevăd cu înclinări constructive (v. tab. 1.2). În figura 33.43, *a—f* sînt

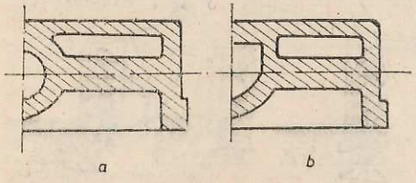


Fig. 33.40. Forma cavității unei piese turnate:
a — greșită; *b* — corectă.

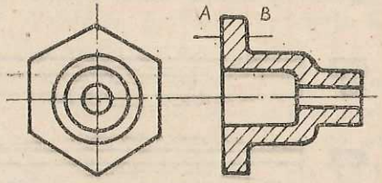


Fig. 33.41. Variante de așezare a suprafeței de separație:
A — suprafața de separație corectă; *B* — suprafața de separație greșită.

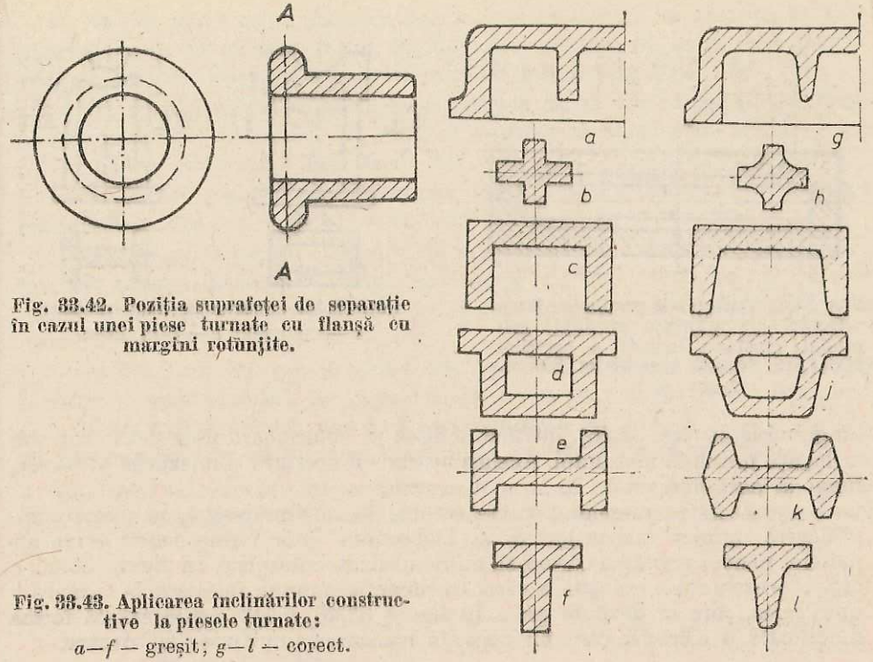


Fig. 33.42. Poziția suprafeței de separație în cazul unei piese turnate cu flanșă cu margini rotunjite.

Fig. 33.43. Aplicarea înclinărilor constructive la piesele turnate:
a—f — greșit; *g—l* — corect.

reprezentate secțiunile unor piese turnate construite greșit, fără înclinări, iar în figura 33.43, *g—l*, construcții corecte. Înclinările constructive se dimensionează direct pe desenul piesei turnate.

Cavitățile și găurile de diferite forme se execută cu ajutorul miezurilor numai în cazurile în care procedeul asigură reducerea greutății pieselor turnate, simplificarea prelucrării prin așchiere și uniformizarea secțiunilor piesei. Și în aceste cazuri, numărul de miezuri să fie cît mai mic posibil.

De asemenea, forma tehnologică a piesei turnate trebuie să asigure: fixarea bună a miezurilor în forme încît să împiedice deplasarea lor în cursul manevrării formelor și al turnării metalului, susținerea miezurilor să se facă cu mărcile sale și posibilitatea de dezbatere și curățire ușoară.

În cazul piesei turnate din figura 33.44, *a*, miezurile sînt fixate pe suporturi metalice, iar în figura 33.44, *b* s-a introdus o modificare care permite fixarea miezului în marcă, dîndu-i astfel o stabilitate mai bună.

De asemenea, nu este indicată folosirea unor miezuri orizontale

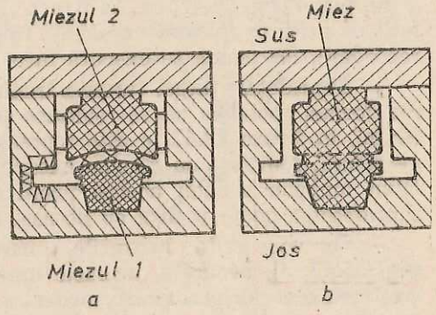


Fig. 33.44. Poziția miezurilor la formarea unui batiu:
a — construcția cu două miezuri, din care unul fixat cu suporturi; *b* — construcția cu un singur miez fixat în marcă.

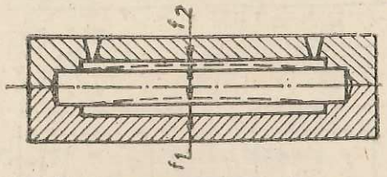


Fig. 33.45. Deformația unui miez lung, orizontal sub influența presiunii metalului; grosimea inegală a pereților piesei este dată de săgețile de încovoiere f_1 și f_2.

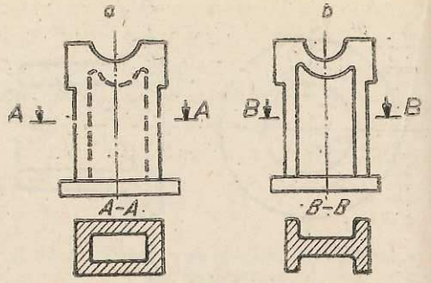


Fig. 33.46. Construcția unei coloane: *a* — cu miez; *b* — fără miez.

lungi, nerigide (fig. 33.45), întrucît acestea se deformează ușor sau se rup sub influența presiunii metalului. Același neajuns îl prezintă și miezurile verticale, lungi și nestabile.

La proiectarea pieselor turnate trebuie să se urmărească nu numai simplificarea formei miezurilor ci și elaborarea unor forme constructive ale pieselor pentru turnarea cărora să nu fie utilizate miezurile. În figura 33.46, *a* este reprezentată o coloană a cărei construcție impune folosirea la turnare a unui miez, care se dezbate greu. În figura 33.46, *b* este reprezentată forma modificată a coloanei care nu necesită utilizarea unui miez la turnare.

2. Piese turnate în forme metalice (cochilii)

La stabilirea formei tehnologice a piesei turnate în cochilii, în special, în cazul procedeului de turnare sub presiune, principiile constructive ale piesei rezultă din forma matriței în care se presează metalul. Dintre aceste principii se menționează:

— Se vor evita razele de racordare neuniforme în porțiunile de intersecție a trei plane (fig. 33.47, *a*). În figura 33.47, *b* razele de racordare sînt identice fapt ce permite folosirea aceleiași freze pentru prelucrarea tuturor razelor de racordare, iar forma se execută într-un timp mai scurt.

— Suprafețele piesei turnate trebuie să fie astfel profilate încît prelucrarea formei metalice să se realizeze pe un număr limitat de mașini-unelte. Astfel, în figura 33.47, *c* este reprezentat un capac cu proeminență pentru garnitură, prevăzut cu muchia exterioară ascuțită și cea interioară rotunjită. Dînd ambelor muchii același profil (fig. 33.47, *d*), prelucrarea celor două suprafețe se poate realiza cu aceeași freză.

— Se vor evita nervurile, maselotele și butucii cu muchii ascuțite (fig. 33.47, *e*), deoarece acestea creează dificultăți la turnare și duc la creșterea costului prelucrării mecanice a formei. Construcția corectă se arată în figura 33.47, *f*.

— Se vor evita racordările semicirculare ale muchiilor în suprafața de separație a formei (fig. 33.47, *g*), întrucît acestea îngreuiază execuția formei și necesită o îmbinare precisă a celor două semiforme. Construcția corectă este reprezentată în figura 33.47, *h*.

— Se vor evita găuri și deschideri în pereții laterali ai pieselor turnate (fig. 33.47, *i*), cu excepția celor cu înclinări suficient de mari, care permit evitarea folosirii miezurilor extrase printr-o latură (fig. 33.47, *k*).

— În cazul pieselor cu găuri lungi, acestea nu se vor executa cu miezuri fixate unilateral (fig. 33.47, *m*), care se deformează repede; de aceea se vor folosi găuri străpunse (fig. 33.47, *n*).

—Se vor evita racordările interioare care necesită miezuri asamblate care prelungesc ciclul de lucru la turnare.

— Se vor evita pereții cu suprafețe mari în piesele turnate plane, subțiri, întrucît acestea înrăutățesc umplerea corectă a formei cu metal. Dacă asemenea pereți nu pot fi evitați atunci se prevăd nervuri mici pe pereți care ușurează curgerea metalului.

Procedeul turnării sub presiune este indicat, îndeosebi, pentru obținerea pieselor cu pereți subțiri, de tipul cutiilor cu secțiune transversală complexă (fig. 33.48, *a*), al pieselor mici cu forma complexă (fig. 33.48, *b*) și al pieselor cu pereți subțiri și cu un număr mare de proeminențe nesimetrice.

Conturul exterior al pieselor trebuie să permită extragerea ușoară a piesei turnate din forma metalică, iar cavitățile interioare nu trebuie să îngreuieze

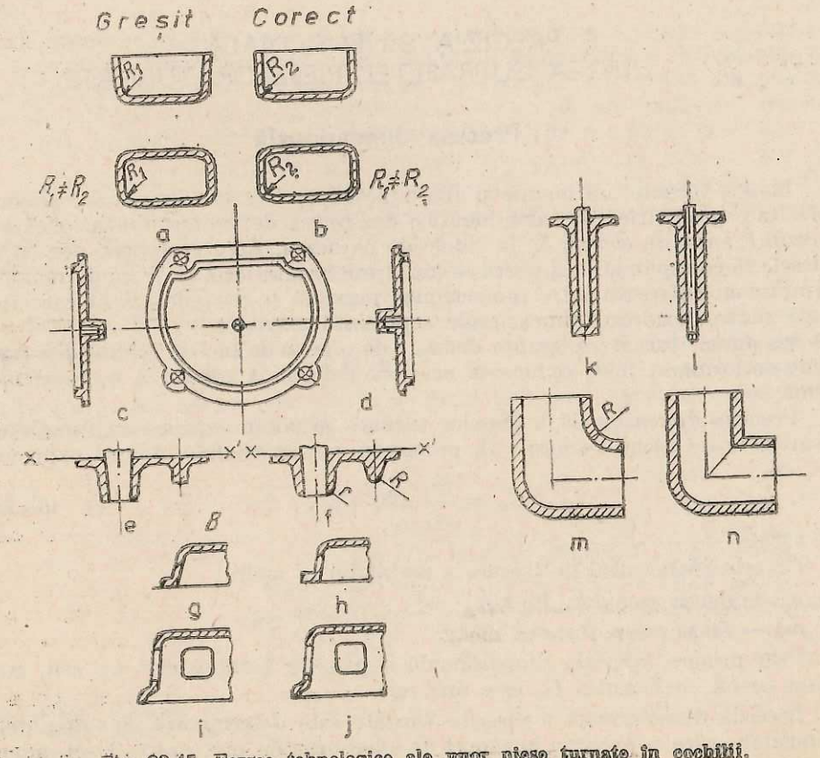


Fig. 33.47. Forme tehnologice ale unor piese turnate în cochilii.

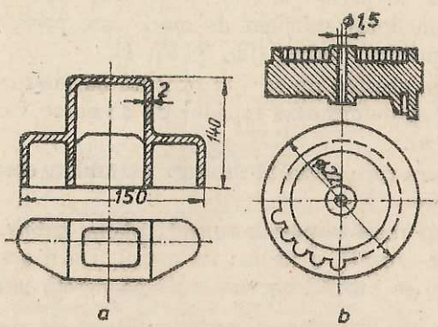


Fig. 33.48. Piesă tip cutie turnată în cochilie.

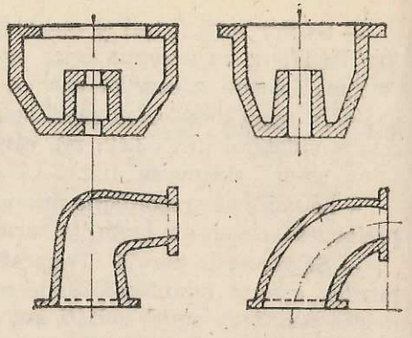


Fig. 33.49. Forma tehnologică a unei piese turnate în amestec de formare (*a*) și sub presiune (*b*).

scoaterea miezurilor. În figura 33.49, *a* este reprezentată o piesă turnată în formă din nisip, iar în figura 33.49, *b* altă piesă turnată sub presiune. Cele două piese au forme diferite datorită particularităților tehnologice ale procedeelor folosite.

E. PRECIZIA DIMENSIONALĂ ȘI CALITATEA SUPRAFEȚEI PIESELOR TURNATE

1. Precizia dimensională

Piesele turnate din metale și aliaje metalice, de orice dimensiune și complexitate geometrică, nu sînt identice din punct de vedere dimensional, ele prezintă anumite *abateri* de la cotele de pe desen. Aceste abateri, pentru ca piesele să corespundă, trebuie să se încadreze în interiorul unor limite maxime și minime. Diferența între dimensiunea maximă și cea minimă în care trebuie să se încadreze dimensiunile reprezintă *toleranța.*

La piesele turnate toleranța depinde de o serie de factori tehnologici (metode de formare) însă reducerea acesteia determină creșterea costului pieselor.

Precizia dimensională a pieselor turnate se poate exprima în funcție de cantitatea de așchii rezultate la prelucrări mecanice, folosindu-se expresia:

$$C_a = \frac{m_a}{m_p} 100 \ [\%], \qquad (33.13)$$

în care:

C_a este coeficientul de trecere a metalului în așchii;

m_a — masa așchiilor, în kg;

m_p — masa piesei turnate, în kg.

Prin urmare, precizia dimensională a pieselor turnate este cu atît mai mare cu cît coeficientul C_a este mai mic.

Precizia dimensională a pieselor turnate este determinată de toleranțele admisibile, care se prescriu în raport de adaosurile de prelucrare. Deci, adaosul de prelucrare mecanică nu influențează precizia dimensională a pieselor turnate, însă reducerea adaosului de prelucrare, adică a pierderilor de metal prin așchii, este influențată direct de precizia dimensională a pieselor turnate.

Abaterile limită la dimensiuni și masă în cazul pieselor turnate sînt prevăzute în STAS 1592/1-74 pentru fontă, STAS 1592/2-74 pentru oțel și STAS 6287-67 pentru piese turnate din metale și aliaje neferoase.

Precizia dimensională a pieselor turnate este determinată de o serie de factori dintre care se menționează: calitatea modelului, înclinările modelului, calitatea amestecului de formare și de miezuri, comportarea formei și a miezului la temperatura de turnare și contracția pieselor turnate în timpul solidificării.

2. Calitatea suprafeței pieselor turnate

Piesele turnate prezintă după solidificare suprafețe rugoase determinate de fluiditatea metalului și de natura formei. În afara rugozității care apare în mod normal, suprafețele pieselor turnate mai pot fi afectate și de o serie de defecte, cum sînt: aderențe (mecanice, chimice și termice), cute, picături reci și altele. Aceste defecte de suprafață se produc în principal, datorită nerespectării tehnologiilor de formare, turnare sau dezbatere a pieselor turnate.

Calitatea suprafeței pieselor turnate cuprinde două aspecte, și anume:

— *Aspectul fizico-chimic*, la care calitatea suprafeței se definește prin abaterile caracteristicilor fizico-mecanice ale stratului superficial din piesele turnate față de cele ale metalului de bază. De obicei, se urmărește: microstructura, prezența oxizilor, rezistența la uzură și la coroziune și altele.

— *Aspectul geometric* prin care calitatea suprafeței este determinată de abaterile suprafeței reale de la cea teoretică. În funcție de dimensiunea lor abaterile pot fi *macroneregularități* (macroabateri), *microneregularități (rugozități)* și *ondulații.*

Din punct de vedere cantitativ, rugozitatea suprafeței pieselor se apreciază cu ajutorul criteriilor de rugozitate, și anume: abaterea medie aritmetică a neregularităților R_a, adică media ordonatelor $y_1, y_2, \ldots, y_n$ punctelor profilului efectiv de limită medie (fig. 33.50), înălțimea maximă a neregularităților R_{max} și înălțimea neregularităților R_z, în zece puncte, adică distanța medie între cinci puncte de vîrf și de cinci adîncime cuprinse între linia exterioară și cea interioară (fig. 33.51).

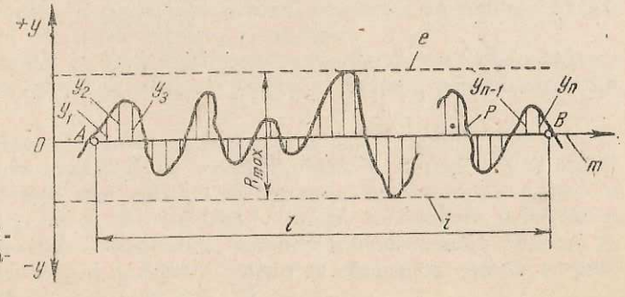


Fig. 33.50. Sistemul liniei medii pentru măsurarea rugozităților.

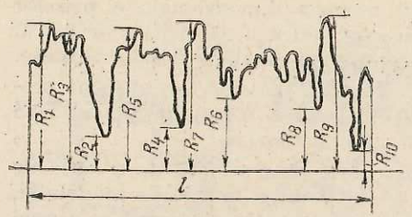


Fig. 33.51. Distanța între cele mai înalte cinci puncte de vîrf și paralela cu linia medie

Pentru criteriile R_a, R_{max} și R_z unitatea de măsură folosită este μm.

Rugozitatea pieselor turnate depinde de procedeul aplicat. Astfel, la piesele turnate în forme de nisip, R_a = 12,5...100 μm și chiar mai mult, la piesele turnate static în forme metalice, R_a = 1,6...25 μm, la piesele turnate sub presiune, R_a = 0,4...6,3 μm, la turnarea în forme coji cu modele ușor fuzibile se obține R_a = 1,5...1,6μm.

F. MĂSURI DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII ÎN TURNĂTORII

Pentru prevenirea accidentelor de muncă în secțiile de turnătorie este necesar să se respecte următoarele măsuri de tehnică a securității muncii:

La formarea manuală, ramele trebuie să fie prevăzute cu dispozitive pentru asamblare și urechi pentru ridicat și transportat.

Toate operațiile de formare se execută numai cînd forma se sprijină pe sol. Se interzice efectuarea de lucrări sub forma suspendată în macara.

Mașinile de format trebuie să fie asigurate împotriva pornirii necomandate (butoane îngropate sau manete cu piedică de siguranță).

La mașinile de îndesat cu cap de aruncare centrifug, mașina poate fi manevrată cu ajutorul dispozitivelor construite în acest scop. Nu se introduce mîna în capul de aruncare.

Dezbaterea manuală a pieselor în turnătorii nemecanizate se va executa numai după răcirea pieselor și pe cît este posibil cu umezirea amestecului de formare.

Locurile de muncă unde se execută dezbaterea pieselor trebuie prevăzute cu instalații de ventilare locală pentru aspirarea prafului.

La curățirea manuală a pieselor turnate se vor purta ochelari din sticlă incasabilă și mănuși, iar locul de muncă va fi prevăzut cu o instalație de ventilare puternică.

Poligoanele folosite la curățirea și remanierea pieselor trebuie să fie prevăzute cu apărători pentru pietre și curele de transmisie.

Nu se vor executa lucrări de întreținere în timpul funcționării mașinii.

Capitolul 34

ELABORAREA ALIAJELOR PENTRU TURNARE ÎN PIESE

1. Aliaje turnate în piese

În practica industrială, aliajele care se toarnă frecvent în piese sînt: aliajele fierului (fonta și oțelurile), aliajele cuprului (bronzuri și alame), aluminiului, magneziului, zincului, staniului, plumbului. Foarte rar se toarnă în piese metale pure din cauza caracteristicilor lor mecanice scăzute.

a) *Fonta* este un aliaj folosit pe scara largă în industria constructoare de mașini și în alte ramuri industriale datorită caracteristicilor sale mecanice și tehnologice și a costului scăzut.

Fontele turnate în piese sînt:

— Fonte cenușii cu grafit lamelor (STAS 568-75), care se folosesc pentru turnare în piese cu destinații foarte diferite: piese pentru mașini agricole, mașini textile, în construcții de autocamioane etc.

— Fonte cenușii cu grafit nodular (STAS 6071-75) se întrebuințează pentru turnarea pieselor care trebuie să aibă o rezistență bună la uzură, cum sînt: segmenți de pistoane, arbori cotiți, cilindri de laminoare etc.

— Fontele maleabile (STAS 569-70) obținute prin tratamente termice la recoacere (maleabilizare) aplicate pieselor turnate din fonta albă.

Fontele maleabile se folosesc pentru turnare de: bucșe, roți dințate, arbori cotiți, axe cu came, lagăre etc.

— Fonte cu proprietăți speciale care sînt fonte cenușii, albe sau maleabile aliate cu diferite elemente pentru îmbunătățirea anumitor proprietăți mecanice sau fizico-chimice.

Din această grupă fac parte: fonte refractare (STAS 6706-73) cu conținut ridicat de crom și nichel; fonte antifricțiune (STAS 6707-73) care înlocuiesc, metalele neferoase pentru lagăre obișnuite; fonte înalt aliate cu siliciu, crom nichel sau cupru, care se folosesc în industria chimică.

b) *Oțelurile* reprezintă o categorie de material metalic cel mai folosit în tehnică. Acest lucru se datorează, pe de o parte, varietății mari de proprietăți ce se pot obține la diferite concentrații de carbon, iar pe de altă parte posibilității alierii oțelului cu cele mai diferite elemente.

Oțelurile turnate în piese sînt:

— Oțelul carbon (STAS 600-74) clasificat în trei grupe:

- grupa 1: oțel cu prescripții pentru rezistența de rupere la tracțiune și alungire;
- grupa a 2-a: oțel cu prescripții pentru rezistența de rupere la tracțiune, pentru limita de curgere și alungire;
- grupa a 3-a: oțel cu prescripții pentru rezistența de rupere la tracțiune, pentru limita de curgere, pentru alungire și pentru reziliență sau gîtuire.

Conținutul de carbon al acestor oțeluri este cuprins între 0,08 și 0,55%: ele au o structură ferito-perlitică, în care proporția de perlită crește cu cît conținutul de carbon este mai ridicat. Ca urmare, rezistența de rupere la tracțiune variază între 40 și 60 daN/mm², limita de curgere între 20 și 35 daN/mm², alungirea între 12 și 20%, gîtuirea la rupere între 18 și 35%, iar reziliența între 2,5 și 5,0 daJ/cm². Duritatea oțelurilor carbon turnate în piese este cuprinsă între 110 și 169 HB.

Domeniile de utilizare ale oțelurilor carbon pentru turnătorie sînt funcție de conținutul de carbon, deci de structură și caracteristici mecanice. Astfel, oțelurile cu conținut scăzut de carbon sînt folosite pentru piese întrebuințate în electrotehnică (rotoare, corpuri de rotoare etc.), a pieselor pentru o gamă largă de mașini și utilaje în special a pieselor care urmează a fi cementate (came, axuri, roți dințate etc.).

Oțelurile cu conținutul de carbon mai ridicat se utilizează pentru: cîrlige de cuplare, tampoane, șuruburi melc, roți dințate, arbori cotiți și alte piese solicitate la uzură fără sarcini la șoc prea mari.

— Oțeluri aliate (STAS 1773-67). Elementele de aliere întrebuințate la elaborare sînt: siliciul, manganul, nichelul, cromul, titanul, molibdenul, vanadiul, cuprul și altele. Aceste elemente îmbunătățesc însușirile masei de bază feritică sau perlitică, conferind oțelului turnat caracteristici mecanice superioare. Oțelurile aliate se folosesc pentru obținerea unei game largi de piese turnate; oțelurile aliate superioare se întrebuințează numai după tratament termic.

— Oțeluri austenitice manganoase (STAS 3718-76) destinate turnării pieselor care trebuie să aibă rezistență mare la uzură.

— Oțeluri aliate refractare și anticorosive (STAS 6855-69) folosite pentru piese rezistente la coroziune atmosferică, la gaze sulfuroase, oxidante și reducătoare; piese rezistente la temperatură și presiune înaltă; piese cu plasticitate mare supuse la solicitări prin șoc (de exemplu: palete de turbine, supapele preselor hidraulice).

c) *Aliajele de aluminiu turnate în piese* (STAS 201/2-71):

— Aliaje Al-Si conțin 11—13,5% Si, fiind caracterizate prin bune proprietăți de turnare și rezistență mare la temperaturi obișnuite. Se folosesc la turnarea pieselor cu forme complicate.

— Aliaje Al-Cu conțin 7—11% Cu, dar mai pot conține și magneziu 1,2%, cînd procentul de cupru scade la 3,5%. Se întrebuințează pentru piese cu solicitări mijlocii (pistoane, chiulase motor etc.).

— Aliaje Al-Si-Cu conțin: Si = 4,5 ..., 6,0% și Cu = 1,0 ... 6,5%, fiind utilizate pentru piese rezistente la coroziune, piese de rezistență pentru motoare etc.

— Aliaje Al-Mg conțin 4,5—7,0% Mg și uneori Si pînă la 1,3%, fiind caracterizate printr-o bună rezistență la apa de mare și la agenți chimici.

— Aliaje Al-Zn conțin 4,5—6,0% Zn și se folosesc pentru piese care necesită o stabilitate dimensională ridicată.

d) *Aliajele cuprului* se pot împărți în trei grupe principale:

— alame, aliaje cupru-zinc (STAS 199/2-73);

— bronzuri, aliaje cupru-staniu (STAS 197/2-76), cupru-aluminiu (STAS 198/2-75) și cupru-plumb-staniu (STAS 1512-75);

— aliaje speciale.

Alamele de turnătorie au simbolul AmT, se folosesc la turnarea armăturilor pentru conducte de apă, abur etc. (alame obișnuite) și pentru turnarea roților dințate, piese pentru nave (alame speciale AmXT).

Bronzurile turnate în piese au următoarele caracteristici: rezistența ridicată la coroziune, rezistența medie la rupere și la șoc, calități deosebite la uzură și frecare.

Aliajele speciale reprezintă o mică fracțiune din greutatea aliajelor pe bază de cupru, totuși ele sînt de un real folos pentru producție. Astfel, aliajele Cu-Cr se folosesc pentru suporturi de electrozi, aliajele Cu-Be sînt întrebuințate pentru arcuri destinate instrumentelor muzicale.

2. Elaborarea fontei de turnătorie

a. **Elaborarea fontei în cubilou.** *Cubiloul* este un cuptor cu funcționare continuă; pe măsură ce se evacuează fonta topită — la intervale de 10—15 min — prin gura de încărcare se introduce încărcătura nouă. Încărcătura cubiloului este alcătuită din: fonte brute de prima topire, deșeuri de fontă, deșeuri de oțel, fondanți (CaO, F_2Ca, dolomita), combustibil (cocs metalurgic) și feroaliaje pentru aliere și dezoxidare.

Părțile principale ale unui cubilou (fig. 34.1) sînt:

— cuva *1*, umplută în permanență cu încărcătură prin gura *5*, lîngă care se află platforma de încărcare *14*;

— creuzetul *2*, prevăzut cu jgheabul de scurgere *6* pentru fontă și gura pentru evacuarea zgurei *7*;

— vatra *3*, executată dintr-un amestec de nisip de turnătorie în amestec cu 12—14% argilă.

La exterior cubiloul are o manta metalică căptușită cu cărămizi de șamotă *4*. La bază, cubiloul este prevăzut cu un capac *8*, susținut de patru stîlpi metalici *9*.

Aerul necesar arderii este adus de la un ventilator la toba *10*, de unde pătrunde în cubilou prin gurile *11*.

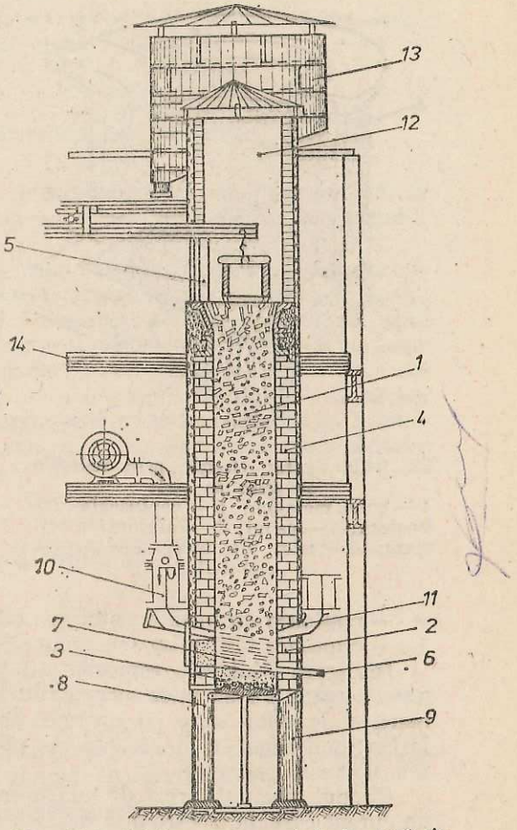


Fig. 34.1. Cubilou cu un rînd de guri de vînt.

Deasupra gurii de încărcare se află coșul *12*, iar deasupra acestuia se află parascînteiul *13*.

Construcțiile moderne de cubilouri sînt prevăzute cu antecreuzete pentru omogenizarea compoziției chimice a fontei cu mai multe rînduri de guri de aer, cu insuflarea de aer preîncălzit la 200—600°C, cu insuflarea de aer îmbogățit cu circa 25% în oxigen tehnic și cubilouri cu cocs și gaz metan.

Căldura de topire a încărcăturii se obține prin arderea cocsului în aerul introdus prin gurile de vînt, după reacția exotermă $C + O_2 = CO_2$.

Procesul metalurgic din cubilou constă în diluarea fontei brute cu deșeuri de oțel însoțit de o slabă oxidare a siliciului (10—15%) și a manganului (15—20%). Parțial se oxidează și carbonul însă practic se poate considera că scăderea procentului de carbon se realizează numai prin diluare, deoarece la traversarea patului de cocs fonta se recarburează.

b. **Elaborarea fontei în cuptoare electrice prin inducție.** Din punctul de vedere al principiului de funcționare, cuptoarele pentru topirea metalelor și aliajelor prin inducție se împart în două grupe:

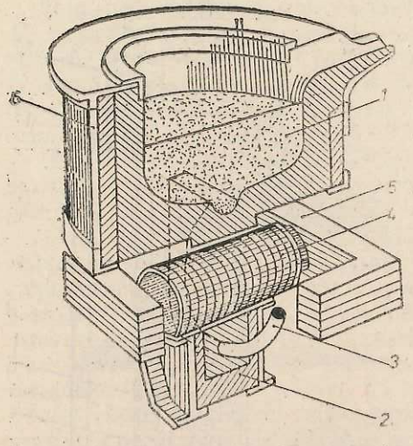


Fig. 34.2. Cuptor electric prin inducție cu miez de oțel:
1 — baia metalică; *2* — căptușeala refractară; *3* — canal; *4* — înfășurarea primară; *5* — miez de oțel; *6* — carcasa metalică.

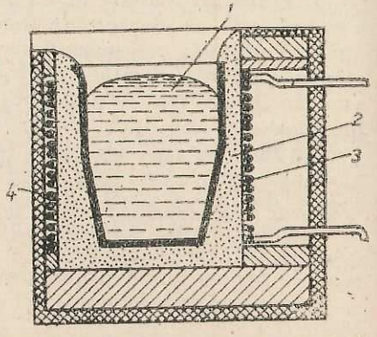


Fig. 34.3. Cuptor electric prin inducție fără miez de oțel:
1 — baia metalică; *2* — căptușeala refractară; *3* — inductor; *4* — ecran magnetic.

— cuptoare cu miez de oțel (cu canal);
— cuptoare fără miez (cu creuzet).

În figura 34.2 este reprezentată schema de principiu a cuptoarelor cu miez de oțel. Pe un miez format din tole de oțel *5* se află o înfășurare primară *4* de alimentare cu energie electrică și înfășurare secundară *3*, sub forma unui canal închis, în care se află metalul topit *1*. Canalul se execută din material refractar.

Cîmpul magnetic creat de înfășurarea primară induce în canalul cu metal un curent care, la trecere prin această spiră închisă, degajă o energie termică:

$$Q = 0{,}24\ I_2^2 \cdot R_2 t \quad [\text{kJ}], \tag{34.1}$$

în care:
I_2 este curentul în canal, în A;
R_2 — rezistența electrică a spirei de metal topit, în Ω;
t — timpul, în s.

În figura 34.3 este reprezentată construcția schematică a cuptorului fără miez, constituită din cuva de topire, executată din masă refractară, inductor și ecran magnetic.

Ecranul magnetic este format din pachete de tole de transformator dispuse vertical în jurul spațiului pentru cuvă. În interiorul ecranului se află inductorul executat din țeavă de cupru prin care circulă apa de răcire.

La cuptoarele fără canal se obține o circulație continuă a metalului, fapt ce duce la omogenizarea băii metalice.

Cuptorul cu inducție este un agregat economic, întrucît consumul de energie electrică este de 440—450 kWh/tonă de fontă lichidă.

În comparație cu cubiloul, topirea fontelor în cuptoare electrice prin inducție prezintă următoarele avantaje:
— se micșorează proporția de incluziuni nemetalice;

— se micșorează pierderile de metal prin ardere 0,5—3,0% față de 8—10% cît sînt aceste pierderi cu cubilou;
— conținutul de sulf și de fosfor poate fi redus pînă la miimi de procente, folosindu-se încărcături ieftine de fier vechi.

3. Proprietățile de turnare ale fontelor

Principalele proprietăți tehnologice ce caracterizează comportarea fontelor la turnare sînt: fluiditatea, contracția, segregația, retasura și tensiunile interne.

Fontele au o bună fluiditate la turnare, în special fontele eutectice și fontele cu grafit nodular. Contracția liniară a fontei cenușii este de 0,8—1,0%, iar a fontei albe de circa 1,7% datorită conținutului mai redus de Si și C.

Fontele se caracterizează printr-o segregație puternică în special în cazul pieselor mari și cu pereți subțiri. Retasura formată în piesele turnate din fonte nu este prea voluminoasă datorită contracției relativ mici a fontelor.

În piesele turnate din fonte, tensiunile interne sînt favorizate de neomogenitatea structurii și de modificarea dimensiunilor în timpul tratamentului termic.

4. Elaborarea oțelului

După sursa de căldură necesară proceselor metalurgice, elaborarea oțelului se poate face prin:
— procedee care folosesc o sursă de căldură exterioară;
— procedee la care căldura este dată de procesele din cuptoare de elaborare.

În prima grupă intră procedeul Siemens-Martin și cuptorul electric cu arc, iar în grupa a doua, elaborarea oțelului în convertizoare.

a. **Elaborarea oțelului în cuptorul Siemens-Martin.** Acest procedeu se aplică la elaborarea oțelului carbon și a unor oțeluri slab aliate. Cuptorul funcționează cu combustibil gazos (gaz metan, gaz de cocserie) sau cu combustibil lichid (păcura).

Cuptorul Siemens-Martin (fig. 34.4) se compune din cuptorul propriu-zis (vatră, pereți anteriori, posteriori și laterali și din boltă) și dintr-o serie de instalații anexe (camere regeneratoare, aparate de inversare și altele). Pentru construcția cuptorului se folosesc cărămizi de silice, la procedeul acid și cărămizi din dolomită sau magnezită la procedeul bazic.

În vatră este prevăzut un orificiu pentru evacuarea oțelului, care se continuă cu un jgheab de turnare, în peretele anterior se găsesc 3—5 uși de deservire, iar în pereții laterali se află capetele de ardere, constituite din canale înclinate prin care se face admisia aerului și evacuarea gazelor arse. În figură, circuitul aerului și al gazelor arse s-a reprezentat prin săgeți.

După capacitatea lor, cuptoarele Siemens-Martin pot fi de 5 t pînă la 400 t și chiar mai mult. În țara noastră cele mai mari cuptoare Siemens-Martin funcționează la Combinatul siderurgic din Hunedoara.

Prin capacitatea cuptorului se înțelege cantitatea de oțel lichid, elaborată la o singură șarjă.

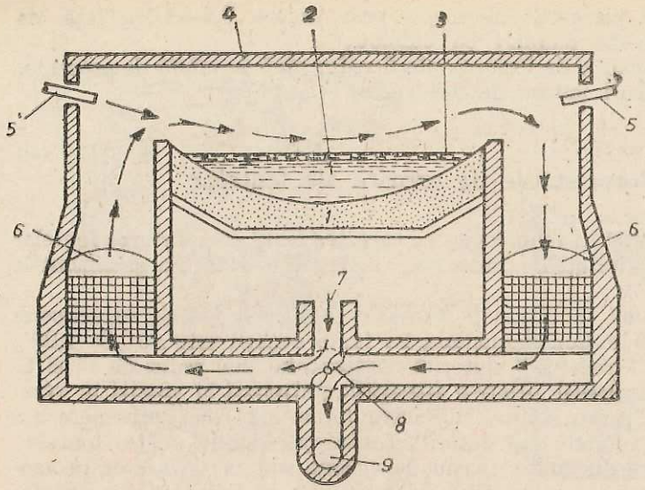


Fig. 34.4. Cuptor Siemens-Martin: *1* — vatră; *2* — metalul topit; *3* — zgură topită; *4* — bolba; *5—5'* — arzătoare sau injectoare; *6—6'* — camereregeneratoare; *7* — canal pentru aer rece; *8* — aparat de inversare; *9* — canal de fum.

Încărcătura cuptorului este constituită din: fontă (lichidă sau solidă), fier vechi, materiale pentru formarea zgurei (var, calcar, nisip cuarțos), decarburanți (minereu de fier), dezoxidanți (feroaliaje) și elemente de aliere în cazul oțelurilor aliate.

Elaborarea oțelului în cuptorul Siemens-Martin cuprinde următoarele faze: ajustarea cuptorului, încărcarea, topirea, fierberea, dezoxidarea metalului și evacuarea șarjei.

În timpul topirii se produc reacții de oxidare a Si, Mn, P și C și zgura de topire, care, datorită greutății specifice mai mici, se află deasupra băii de metal topit. Zgura se scoate din cuptor prin ușile de deservire. Fierberea este determinată de oxidarea puternică a carbonului și formarea CO care se ridică la suprafața metalului. Pentru realizarea dezoxidării în baia metalică se introduc dezoxidanți sub forma de feroaliaje. Evacuarea oțelului în oala de turnare se face prin destuparea orificiului de evacuare.

Durata de elaborare a unei șarje este de 6—12 h, funcție de capacitatea cuptorului, de regimul termic și de natura oțelului elaborat.

b. **Elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc.** În practica industrială cel mai răspîndit este cuptorul electric cu arc cu vatra neconducătoare avînd capacități între 0,5 t și 200 t.

Cuptorul este alcătuit dintr-o cuvă cilindrică *1* și o vatră sferică *2* (fig. 34.5) executate din tablă și căptușite cu material refractar și din bolta detașabilă *3* sau fixă, tot din material refractar. Cuva este prevăzută cu o ușă de încărcare *4* iar în partea opusă se află orificiul cu jgheabul de evacuare a oțelului. Prin boltă pătrund trei electrozi *5* alimentați cu curent alternativ trifazic de la un transformator care coboară tensiunea de la 3 000—6 000 V la tensiunea de regim de 80—200 V.

Arcul electric se închide după circuitul: electrod — arc — zgură — metal — electrod vecin.

Electrozii folosiți la cuptoarele cu arc sînt din grafit sau cărbune grafitizat.

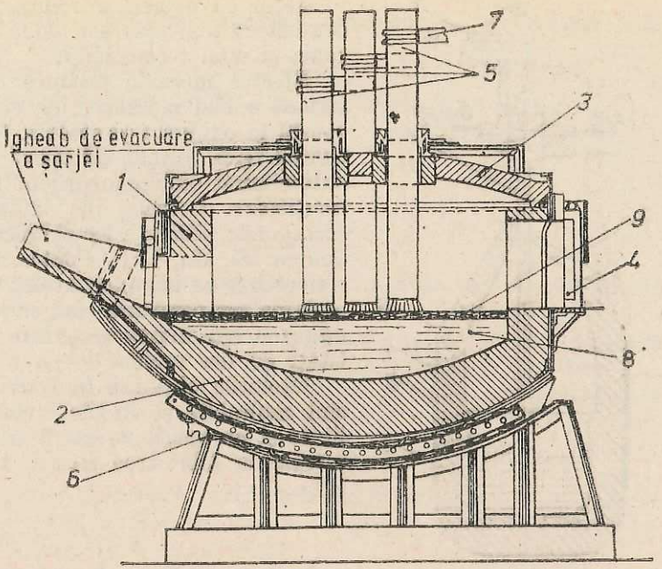


Fig. 34.5. Cuptor electric cu arc: *1* — cuvă; *2* — vatră sferică; *3* — boltă; *4* — ușă de încărcare; *5* — electrozi; *6* — mecanism cu cremalieră pentru basculare a cuptorului; *7* — portelectrozi; *8* — metalul topit; *9* — zgura topită.

Încărcătura cuptorului electric constă din fier vechi și fontă solidă care nu depășește 20%. Elaborarea oțelului cuprinde următoarele etape: încărcarea, topirea, afinarea, dezoxidarea și alierea.

Încărcarea și topirea sînt două etape care prezintă importanță atît din punct de vedere economic cît și metalurgic. Desfășurarea proceselor în cursul acestor etape influențează atît calitatea oțelului cît și durata de elaborare a șarjei.

Afinarea se referă la decarburarea băii metalice care trebuie să se desfășoare cu o viteză mare pentru a realiza o bună degazificare a metalului.

Dezoxidarea băii metalice se face prin difuziune, proces ce are la bază reacția de trecere în zgură a oxigenului dizolvat în oțel pe baza legii repartiției. Scăderea conținutului ΣFeO din zgură se realizează prin adăugarea unor reducători (praf de cocs, CaO și Fe_2Ca) pe zgură. Cînd zgura devine reducătoare, oxizii din baia metalică difuzează în zgură.

În cazul oțelurilor aliate după dezoxidare se introduc elemente de aliere, cum sînt: Ce, Mn, Mo, Ti, V, W, Si. Elementele mai puțin oxidabile decît fierul se introduc chiar în încărcătura cuptorului.

c. **Elaborarea oțelului în convertizorul cu oxigen.** Elaborarea oțelului în convertizor se caracterizează prin faptul că încărcătura constă din fontă lichidă, iar afinarea se face prin suflare de oxigen. Datorită reacțiilor de oxidare exoterme, temperatura topiturii se ridică de la 1200—1250°C (temperatura fontei lichide) pînă la 1600°C (temperatura oțelului lichid).

Convertizorul cu oxigen, numit și convertizorul L.D. (fig. 34.6), constă dintr-un recipient de tablă din oțel căptușit cu cărămizi refractare. Oxigenul se suflă în convertizor printr-o țeavă de cupru (lance) răcită cu apă și introdusă vertical prin gura convertizorului. La capătul inferior, lancea este prevăzută cu un ajutaj din cupru, cu 3—7 orificii, înclinate față de axa verticală cu 8—13°. Fiecare convertizor este prevăzut cu două lănci.

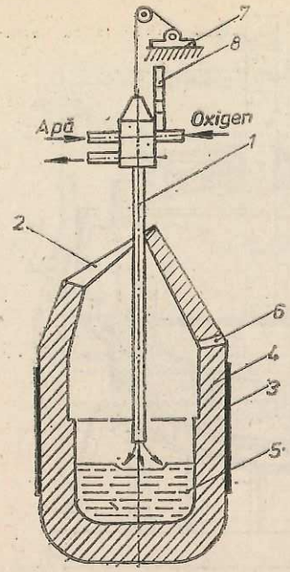


Fig. 34.6. Convertizor L.D.: *1* — lance; *2* — gura convertizorului; *3* — carcasă de oţel; *4* — cărămidă refractară; *6* — gură de evacuare; *7* — troliu electric; *8* — riglă gradată pentru controlul coborîrii lancei.

Jetul de oxigen introdus în convertizor, în contact cu topitura, are două efecte: unul mecanic şi unul termochimic.

Efectul mecanic produce o amestecare puternică a băii metalice, iar efectul termochimic constă în oxidarea parţială a topiturii de metal. Oxidul feros format difuzează repede în topitură determinînd oxidarea carbonului şi a elementelor însoţitoare. Ordinea de oxidare a elementelor corespunde afinităţii lor chimice pentru oxigen, şi anume: Si, Mn, C, P. Pentru formarea zgurei, în convertizor se introduc bucăţi de CaO iar pentru reglarea temperaturii, cînd se produce o supraîncălzire a băii metalice, se introduc anumite cantităţi de fier vechi.

Oţelurile obţinute în convertizorul cu oxigen sînt maleabile şi ductile, avînd o bună sudabilitate şi un conţinut scăzut de azot. Se întrebuinţează la fabricarea sîrmei, tablei, ţevilor, barelor etc.

5. Proprietăţile de turnare ale oţelului

Fluiditatea oţelului este mai redusă decît a fontelor deoarece conţine mai puţin carbon şi siliciu şi ca urmare capacitatea de turnare a oţelului este inferioară fontelor.

Contracţia oţelului este relativ mare, fiind cuprinsă între 2,18 şi 2,4% (contracţia liberă totală). Datorită contracţiei mari, oţelul are tendinţa accentuată spre formarea retasurilor şi crăpăturilor în timpul solidificării pieselor turnate.

Oţelul are o tendinţă mare de a absorbi gaze determinate de temperaturi înalte de supraîncălzire necesară turnării.

6. Elaborarea aliajelor neferoase

Aliajele neferoase se folosesc pentru turnarea în piese care trebuie să aibă anumite proporţii speciale, ca:

— greutate specifică mică;
— rezistenţă la uzură prin frecare;
— rezistenţă la coroziune;
— conductibilitate termică ridicată.

Principalele aliaje neferoase folosite pentru turnarea pieselor sînt:

— bronzurile, aliaje, Cu—Sn, Cu—Al, Cu—Pb;
— alamele, aliaje Cu—Zn;
— aliajele de aluminiu;
— aliajele de magneziu;
— aliajele antifricţiune pe bază de Sn, Pb şi Al.

a. **Materiale pentru elaborarea aliajelor neferoase.** La elaborarea aliajelor neferoase se folosesc:

a) *Metale turnate în blocuri:*
— aluminiu tehnic primar (98,00 ... 99,8% Al);
— cupru (99,0—99,95% Cu);
— magneziu primar (99,85—99,9% Mg);
— nichel (97,6—99,8% Ni);
— plumb (99,5—99,95% Pb);
— staniu (96,25—98,35% Sn);
— zinc (97,5—99,99% Zn).

b) *Prealiaje*, adică aliaje intermediare folosite în cazul cînd alierea directă cu elemente în stare pură nu este posibilă.

Prealiajele se utilizează la elaborarea aliajelor dintre metalele de bază cu temperatura de topire scăzută şi elemente de aliere greu fuzibile (Cu, Ni, Cu, Mn etc.), în scopul evitării supraîncălzirii aliajului. Pentru aceasta este necesar ca prealiajele să aibă un conţinut cît mai ridicat de elemente greu fuzibile şi temperatura de topire cît mai apropiată de cea a metalului de bază.

c) *Deşeurile metalice* şi *metalele vechi* neferoase se împart în următoarele categorii: cupru, alamă, bronz cu staniu, bronz cu aluminiu, bronz cu plumb, nichel, plumb şi altele.

d) Fondanţii au rolul de a antrena oxizii prin reducerea tensiunii superficiale între metal şi oxid şi de a rafina şi degaja baia metalică prin acţiune mecanică.

În practica industrială se folosesc următorii fondanţi: sodă calcinată 50% şi fluorină 50% sau sodă 20%, fluorină 40% şi nisip de cuarţ 40% pentru bronzuri cu staniu; amestec de sticle şi borax pentru bronzuri cu aluminiu, mangal pentru alame şi amestecuri de cloruri şi fluoruri ale metalelor alcaline pentru aluminiu şi magneziu.

Cantitatea de fondanţi folosită variază între 0,5 şi 1% din greutatea încărcăturii.

e) *Dezoxidanţi* servesc la reducerea oxizilor din baia metalică, cuprul fosforos în cazul aliajelor de cupru.

b. **Elaborarea aliajelor de cupru.** a) *Bronzurile cu staniu* se elaborează în cuptoare cu creuzet, cu flacără şi în cuptoare electrice. Ordinea de topire a încărcăturii este următoarea: cuprul şi deşeurile de bronz apoi staniul şi dacă este necesar şi plumbul.

Dezoxidarea se face cu adaosuri de cupru fosforos în proporţie de circa 0,05% din greutatea topiturii.

Pentru eliminarea aluminiului din bronzurile cu staniu se foloseşte un fondant alcătuit din 50% ZnO şi 50% borax, în proporţie de 6% din greutatea băii metalice pentru fiecare procent de aluminiu.

Fierul şi stibiul se îndepărtează din aliaj cu ajutorul unui fondant compus din 50% sulfat de potasiu şi 50% sodă calcinată.

Temperatura de turnare a bronzurilor cu staniu este de 1100—1180°C.

b) *Bronzurile cu aluminiu* se elaborează cu precădere în cuptoare de inducţie, topindu-se întîi cuprul şi apoi aluminiul. Înainte de introducerea aluminiului, cuprul se dezoxidează cu cuprul fosforos, în aşa fel încît în aliaj să rămînă 0,01—0,02%P.

Pentru protejarea topiturii contra oxidării și pentru micșorarea pierderilor prin ardere, aliajul topit se acoperă cu fondanți.

La topirea bronzurilor de aluminiu se aplică și rafinarea cu clorură de mangan, care se introduce în proporție de 0,2—0,4% din greutatea încărcăturii.

Temperatura de turnare a bronzurilor de aluminiu este de 1100—1200°C, în funcție de forma piesei turnate.

c) *Alame.* La elaborarea alamelor ordinea de topire a încărcăturii este următoarea: cuprul, deșeuri de alamă și zincul. Alama se topește fie sub un strat de cărbune fie sub un strat de fondant (25% Na_2O; 65% SiO_2; 10% NaCl).

La topirea alamei nu se folosesc dezoxidanți speciali deoarece însuși zincul este dezoxidant.

c. **Elaborarea aliajelor de aluminiu.** La elaborarea aliajelor de aluminiu se topește întîi aluminiul în care apoi se dizolvă prealiajele. Aliajele de aluminiu fiind sensibile la oxidare și absorbție de gaze se elaborează sub un strat de fondanți de compoziție complexă (fluoruri și cloruri ale metalelor alcaline).

După topirea și îndepărtarea zgurei se dezoxidează metalul cu ajutorul unui fondant, iar apoi aliajul topit se modifică cu unele metale (Ti, Ta, B, Be, Zn etc.) care se introduc în cantități de miimi de procente.

Aliajul modificat se degajează cu clor sau azot (5—10 min la 750°C) după care metalul se toarnă.

La elaborarea aliajelor aluminiu-siliciu de tipul siluminului, modificarea se face cu sodiu metalic (0,1%) sau cu un amestec de săruri ale sodiului (75% NaF, și 25% NaCl) la 750—800°C după rafinare. După modificarea băii metalice și amestecarea acesteia aliajul se toarnă.

d. **Elaborarea aliajelor cu bază de magneziu.** Aliajele de magneziu se elaborează în cuptoare cu creuzet, iar topirea se face în următoarea ordine: fondanți (40—50% din greutatea metalului), aliajul de magneziu și elementele de aliere sau prealiajele.

La elaborarea aliajelor de magneziu o atenție deosebită se acordă pregătirii fondantului pentru izolarea bună a metalului de contactul cu aerul și gazele de ardere în scopul evitării aprinderii magneziului. În timpul topirii baia metalică trebuie să fie acoperită cu un strat de fondant.

După topire, aliajul se încălzește pînă la 720—740°C și se amestecă timp de 4—6 min.

La turnarea aliajelor cu bază de magneziu este necesar ca fondantul să rămînă pe fundul creuzetului. Pentru aceasta aliajul se supraîncălzește pînă la 880—890°C, după care se răcește în creuzet pînă la 690—770°C, fără a se agita. La această temperatură, creuzetul se transportă la locul de turnare, evitîndu-se agitarea aliajului.

e. **Proprietățile de turnare ale aliajelor neferoase.** Aliajele de aluminiu și magneziu se caracterizează printr-o capacitate bună la turnare, grosimea minimă a pereților pieselor mici este de 3 mm, în timp ce la piesele mai mari și de importanță, grosimea nu trebuie să scadă sub 4 mm.

Aceste aliaje au o contracție mare la solidificare și deci tendința de a forma macroretasuri; aliajele cu compoziția eutectică manifestă tendința de a forma macroretasuri interioare, iar cele care se solidifică într-un interval

de temperaturi formează microretasuri și retasuri exterioare datorită pericolului impurificării aliajului cu oxizi, este obligatorie umplerea liniștită și neîntreruptă a formei.

Bronzurile fără staniu și alamele speciale au tendința de a forma retasuri concentrate ca urmare a contracției mari în timpul solidificării de a produce straturi de oxizi pe suprafața aliajului lichid și de a forma sufluri. În schimb bronzurile cu staniu formează microretasuri interioare care pătrund adînc în piesa turnată.

Lipsa tendinței de formare a macroretasurilor la bronzurile cu staniu se datorește unui interval mare de temperaturi de solidificare; de exemplu, pentru bronzul cu un conținut de 5—10% Sn, intervalul de solidificare este de 150—200°C. La bronzurile fără staniu și la alame acest interval este relativ mic, de obicei, nu depășește 50°C.

V.

Tehnologia forjării și tratamentelor termice și termochimice

Capitolul 35

TEHNOLOGIA PRELUCRĂRII METALELOR ŞI ALIAJELOR PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

A. GENERALITĂŢI

Deformarea plastică este metoda de prelucrare a metalelor şi aliajelor în stare solidă la cald sau la rece efectuată sub acţiunea unor forţe exterioare. Ca urmare, metalele şi aliajele îşi modifică forma şi dimensiunile, fără să revină la forma iniţială, după ce încetează acţiunea forţelor.

În ţara noastră dezvoltarea producţiei de piese obţinute prin deformare plastică şi implicit a pieselor forjate a fost în concordanţă cu ritmul general de dezvoltare economică. Astfel, producţia de piese deformate plastic a reprezentat 6—7% din producţia totală de oţel a României, iar nivelul producţiei a fost în anul 1975 de 230%, în comparaţie cu anul de referinţă 1968 (100%), urmînd ca la sfîrşitul anului 1980 să se realizeze o producţie de aproape patru ori mai mare, în comparaţie cu cea din anul 1968.

Dezvoltarea producţiei de piese obţinute prin deformare plastică este determinată de o serie de avantaje şi anume:

— se obţine o structură cu cristale fine;

— caracteristici fizico-mecanice superioare;

— posibilitatea executării unor piese cu forme complexe;

— productivitate ridicată;

— consum minim de metal, în cazul pieselor matriţate şi extrudate;

— precizia mare a pieselor, îndeosebi la prelucrarea pe maşini specializate.

În acelaşi timp, metoda de prelucrare prin deformare plastică prezintă şi unele avantaje:

— maşinile şi instalaţiile folosite sînt costisitoare;

— pentru realizarea deformării plastice a materialelor metalice sînt necesare forţe mari.

Prelucrarea prin deformare plastică are o aplicabilitate tot mai largă, întrucît industria constructoare de maşini şi alte ramuri industriale necesită piese şi subansambluri cu caracteristici mecanice tot mai ridicate.

În prezent maşinile şi utilajele încorporează în ele piese obţinute prin deformare plastică în proporţie de 60—70% din masa totală.

B. DEFORMAREA ELASTICĂ ŞI PLASTICĂ A METALELOR ŞI ALIAJELOR

Sub acţiunea unor forţe exterioare metalele şi aliajele pot suferi deformări elastice sau plastice.

Deformarea elastică a metalelor şi aliajelor se menţine numai în timpul acţiunii unor forţe exterioare capabile să le modifice forma şi dimensiunile. La înlăturarea acestor forţe metalul sau aliajul revine la forma şi dimensiunile iniţiale.

Deformarea plastică a metalelor şi aliajelor se produce numai la o anumită valoare a forţelor exterioare. Această deformare se menţine şi după înlăturarea forţei care a provocat-o.

Metalele şi aliajele sînt corpuri solide deformabile care au însuşiri elastice şi plastice. De aceea, la prelucrarea metalelor prin lovire sau presare, deformarea plastică este precedată întotdeauna de deformarea elastică. După înlăturarea forţei exterioare, deformarea elastică se recuperează şi rămîne numai deformarea plastică.

1. Mecanismul deformării plastice

La prelucrarea prin deformarea plastică, metalele şi aliajele se deformează, în principal, prin două mecanisme, şi anume: *alunecarea* şi *maclarea*.

Alunecarea în reţele cristaline constă în deplasarea în întregime a unei părţi de cristal, în raport cu altele, pe planele de maximă densitate de atomi, numite *plane de alunecare*, şi în *direcţiile de alunecare* pe care atomii au aşezarea cea mai densă. La alunecare, deplasarea se face cu un multiplu întreg de distanţe atomice şi pe un număr mic de plane atomice (1 pînă la 100 plane atomice), fără a se distruge coeziunea dintre părţile alăturate ale cristalului.

În figura 35.1 este reprezentată alunecarea într-un monocristal. Pachetele de alunecare care au grosimea de 10^{-3}—10^{-4} cm sînt alcătuite din numeroase lamele subţiri.

Maclarea constă în deplasarea unei părţi de cristal, astfel încît partea respectivă să se plaseze, în raport cu un plan *(planul de maclare)* într-o poziţie simetrică prin reflectare în oglindă (fig. 35.2). La maclare atomii se deplasează pe distanţe mai mici decît un spaţiu interatomic, de aceea maclarea nu produce o deformare permanentă însemnată.

Deformarea prin maclare este favorizată de scăderea temperaturii şi de creşterea vitezei de deformare.

Alunecarea se întîlneşte la deformarea monocristalelor şi agregatelor policristaline unui număr mare de metale şi aliaje în timp ce maclarea are loc numai în cazul anumitor metale şi aliaje.

La monocristale, planele de alunecare au aceeaşi direcţie, în schimb la policristale, adică la metale şi aliaje industriale, direcţia planelor de alunecare diferă de la un cristal la altul.

Datorită orientării diferite a planelor de alunecare de la un grăunte cristalin la altul, a neomogenităţii chimice şi structurale şi a altor factori, procesele de deformare plastică a agregatelor policristaline sînt mult mai complexe decît la monocristale.

La începutul solicitării metalelor şi aliajelor mai întîi se deformează cristalele a căror plane şi direcţii de alunecare se apropie cel mai mult de planele

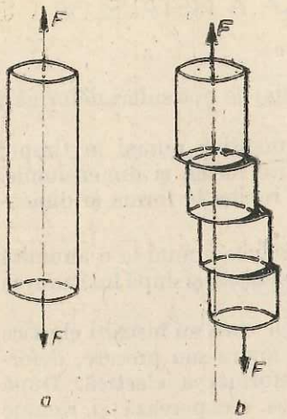


Fig. 35.1. Deformarea prin alunecare a unui monocristal: *a* — înainte de deformare; *b* — după deformare.

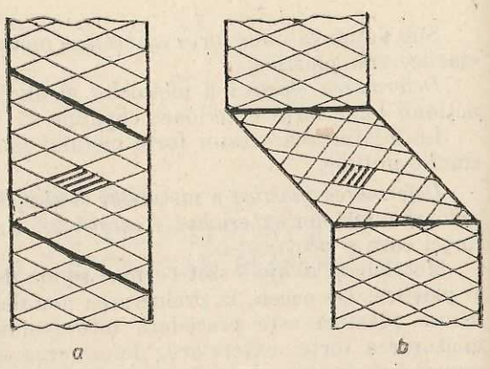


Fig. 35.2. Deformarea prin maclare: *a* — starea inițială; *b* — după maclare.

înclinate la 45° față de direcția forței. Pe măsură ce deformarea continuă, alunecarea se produce și în alte plane cu o înclinare mai puțin favorabilă față de direcția solicitării.

Din acest punct de vedere *plasticitatea* metalelor este determinată de capacitatea lor de a produce plane de alunecare. Cu cît un metal are mai multe plane de alunecare, cu atît plasticitatea lui este mai ridicată.

2. Deformarea plastică a metalelor și aliajelor la rece și la cald

Prelucrarea metalelor prin deformare plastică poate fi realizată la *rece* sau la *cald*.

Deformarea la rece are loc la temperaturi sub 0,3 T_{top} (T_{top} este temperatura de topire a metalului, în K), fiind caracterizată prin creșterea durității și a rezistenței la rupere și prin micșorarea ductilității. Această stare a metalului obținută ca rezultat al deformării se numește *ecruisare* și reprezintă o *stare instabilă*.

Deformarea plastică la cald are loc la temperaturi care depășesc 0,7 T_{top}, fapt ce permite ca *procesul* de *recristalizare* să se desfășoare în același timp cu deformarea.

La metalele și aliajele prelucrate la cald, odată cu creșterea temperaturii, se produce o apropiere a limitei de curgere de rezistența de rupere, fapt ce mărește domeniul de prelucrare.

Prelucrarea la cald, în comparație cu prelucrarea la rece, prezintă unele avantaje: reducerea importantă a energiei necesare deformării, se diminuează neomogenitățile, se elimină porozitățile și suflurile și se fărîmițează structura grosolană de la turnare.

Totodată, procedeul prezintă și unele dezavantaje: se produc oxidarea și decarburarea suprafeței metalului, structura și proprietățile mecanice sînt

mai puțin uniforme pe secțiunea transversală
rece și apoi recoapte.

Metalele și aliajele prelucrate prin deformare
structură fibroasă rezultată din plasarea particulelor
paralele cu direcțiile preferate ale grăunților defor
este *stabilă* și nu poate fi distrusă nici prin tratamente
plastice ulterioare.

La proiectarea procesului tehnologic de prelucrare, pen
piese cu caracteristici mecanice optime, se va ține seama de st
și de starea de anizotropie a metalului.

În figura 35.3, *a* este reprezentată o bară laminată din care s-a ob
prin forjare un șurub (fig. 35.3, *b*), în figura 35.3, *c* o porțiune dintr

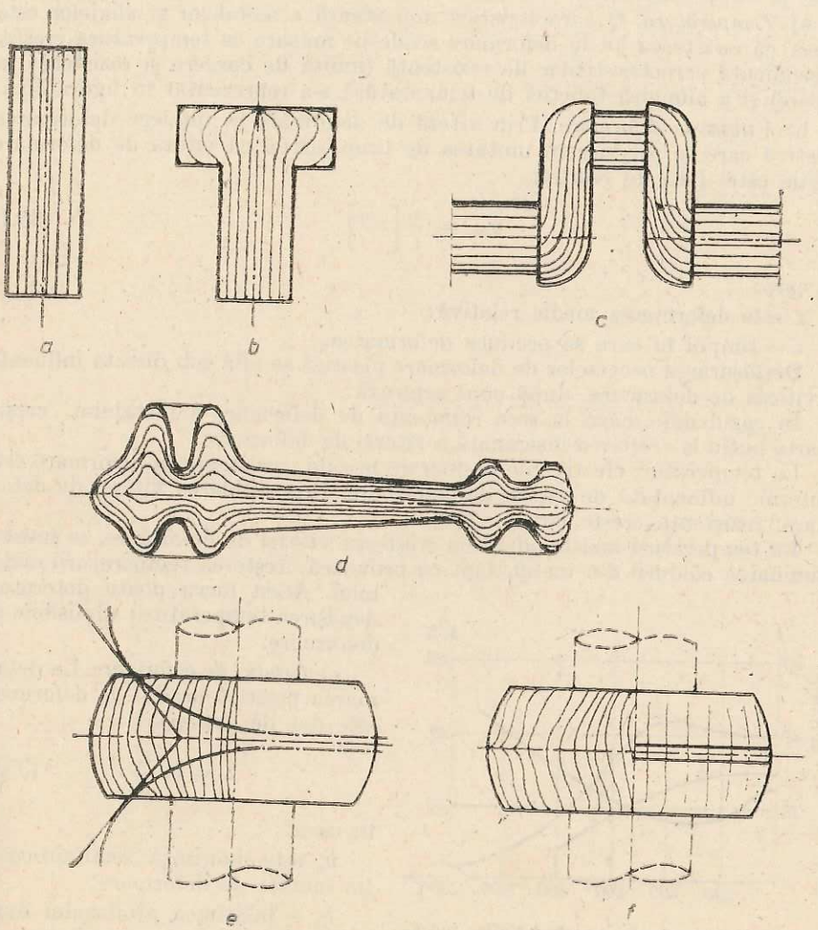


Fig. 35.3. Diferite piese forjate cu fibraj continuu.

o bielă matriţată, în figura 35.3, *e* un disc
f un disc matriţat. Se observă o structură
forjate.

ctul condiţiilor de deformare
supra rezistenţei la deformare

eformare plastică este dată de raportul dintre forţa totală
mării metalelor şi aliajelor în anumite condiţii şi suprafaţa de
tre scule şi semifabricatul supus deformării.

ncipalii factori care influenţează deformarea plastică a metalelor şi
jelor sînt: temperatura, viteza de deformare, gradul de deformare, struc-
ura şi compoziţia chimică, natura forţelor de deformare.

a) *Temperatura.* O caracteristică importantă a metalelor şi aliajelor este aceea că rezistenţa lor la deformare scade pe măsură ce temperatura creşte. Dependenţa caracteristicilor de rezistenţă (limita de curgere şi rezistenţa la rupere) şi a alungirii funcţiei de temperatură s-a reprezentat în figura 35.4.

b) *Viteza de deformare.* Prin viteză de deformare se înţelege deformarea relativă care se produce în unitatea de timp, astfel că viteza de deformare medie este dată de relaţia:

$$v_{dm} = \frac{\varepsilon}{t}\left[s^{-1}\right], \qquad (35.1)$$

în care:

ε este deformarea medie relativă;

t — timpul în care se produce deformarea.

Desfăşurarea proceselor de deformare plastică se află sub directa influenţă a vitezei de deformare, după cum urmează:

În cazul deformării la rece rezistenţa de deformare a metalului creşte foarte puţin la creşterea însemnată a vitezei de deformare.

La temperaturi efective de prelucrare la cald, rezistenţa la deformare este puternic influenţată de viteza de deformare. Prin dublarea vitezei de deformare, rezistenţa creşte cu 20—25%.

La temperaturi înalte, odată cu creşterea vitezei de deformare, se întîrzie eliminarea căldurii din metal, fapt ce provoacă creşterea temperaturii metalului. Acest lucru poate determina depăşirea temperaturii admisibile de deformare.

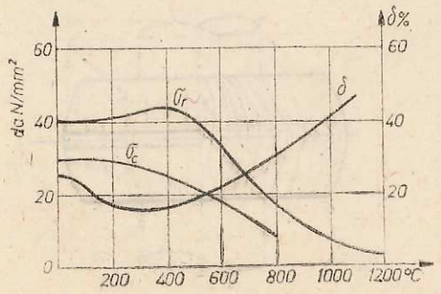


Fig. 35.4. Dependenţa caracteristicilor mecanice ale oţelului de temperatură.

c) *Gradul de deformare.* La deformarea plastică gradul de deformare este dat de expresia:

$$\lambda = \ln \frac{h_0}{h_1}, \qquad (35.2)$$

în care:

h_0 este înălţimea semifabricatului înainte de deformare;

h_1 — înălţimea produsului după deformare plastică a metalului.

Creşterea gradului de deformare la rece determină o ecruisare puternică, astfel că metalul îşi pierde capacitatea de deformare (fig. 35.5). În cazul oţelurilor, la un grad de deformare de 50—60%, ecruisarea atinge valori maxime. O deformare în continuare ar produce ruperea materialului. De aceea, se introduc recoaceri intermediare, pentru a conferi metalului plasticitatea iniţială.

d) *Structura şi compoziţia chimică.* În general, metalele au o plasticitate mai mare şi o rezistenţă la deformare mai mică decît aliajele pe care acestea le formează. La aliaje, deplasarea atomilor prin alunecare este îngreunată din cauza tensionării reţelei cristaline de către elementele de aliere şi uneori chiar a modificării reţelei cristaline.

e) *Forţele de deformare* aplicate în diferitele tipuri de procese de forjare se pot împărţi în două grupe mari:

— forţe dinamice, dezvoltate în special la forjare pe ciocane;

— forţe statice, dezvoltate la forjarea pe prese.

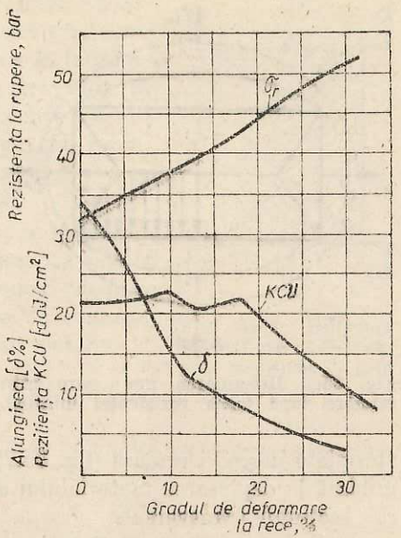


Fig. 35.5. Influenţa gradului de deformare la rece asupra caracteristicilor mecanice ale oţelului.

Forţele dinamice au cea mai mare intensitate în momentul cînd scula de deformare atinge materialul cald şi apoi descresc brusc, deoarece energia impactului este absorbită de deformarea materialului.

Forţele statice cresc pe măsură ce materialul se deformează şi ating valoarea maximă în momentul întreruperii presării materialului.

4. Legile deformării plastice

a) *Constanta volumului* metalului deformat. Dacă se consideră că metalul supus deformării are o formă paralelipipedică (fig. 35.6), atunci se poate scrie:

$$h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1 = \ldots = h_i b_i l_i = \ldots = h_n b_n l_n \qquad (35.3)$$

sau

$$V_0 = V_1 = h_0 b_0 l_0 = h_1 b_1 l_1, \qquad (35.4)$$

de unde:

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{h_1 b_1 l_1}{h_0 b_0 l_0} = \gamma\beta\lambda = 1, \qquad (35.5)$$

în care:

γ, β şi λ sînt coeficienţi de deformare;

γ — coeficientul de reducere a înălţimii;

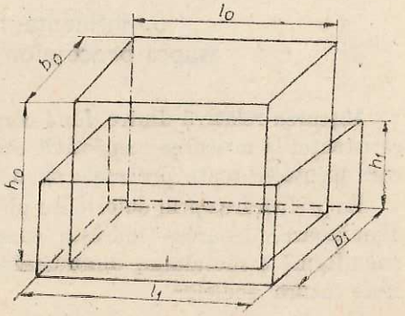


Fig. 35.6. Deformarea triaxială a unui cub elementar.

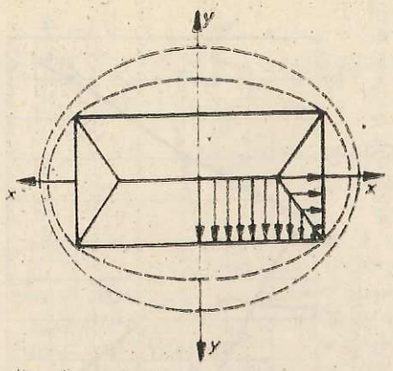


Fig. 35.7. Deformarea unui corp prin refulare după legea rezistenței minime.

β — coeficient de lățire;

λ — coeficient de alungire.

Condiția de constanță volumului este satisfăcută dacă produsul acestor coeficienți este 1.

b) *Legea rezistenței minime.* Această lege poate fi formulată în felul următor: Dacă punctele dintr-un metal sau aliaj supus deformării plastice au posibilitatea de a se deplasa în diferite direcții, atunci ele se vor deplasa de preferință în direcția în care întîmpină o rezistență minimă. Astfel, la deformarea prin compresiune a metalelor cu secțiunea transversală diferită de cea rotundă, se observă o tendință a secțiunii transversale de a lua o formă apropiată de cea circulară (fig. 35.7). Aceasta ilustrează faptul că rezistența minimă la deplasarea materialului are loc în direcția perpendiculară pe laturile secțiunii transversale.

c) *Legea similitudinii.* Potrivit acestei legi, lucrul mecanic necesar schimbării formei unor corpuri geometrice asemenea și din același material este proporțional cu volumul (masa) lor.

Deci, expresia matematică a legii similitudinii este

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{M_1}{M_2} = a^3, \qquad (35.6)$$

în care:

A este lucrul mecanic;

V — volumul corpurilor;

G — masa corpurilor;

a — raportul dimensiunilor liniare ($a = \frac{l_1}{l_2} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{b_1}{b_2}$, unde l, h și b sînt lungimea, înălțimea și respectiv lățimea corpului).

5. Influența frecării exterioare asupra proceselor de deformare plastică

Mișcarea relativă dintre două corpuri solide în contact determină apariția rezistenței la mișcarea respectivă. Acesta este fenomenul de *frecare exterioară* care însoțește toate procesele de deformare plastică a metalelor și aliajelor.

La prelucrarea prin deformare plastică, frecarea exterioară este, în general, dăunătoare, deoarece mărește energia consumată la deformare, curgerea neuniformă a metalului, diminuează calitatea suprafețelor prelucrate și sporește uzura sculelor.

Frecarea exterioară este utilă numai în cazul laminării întrucît frecarea dintre metal și cilindrii de laminare asigură prinderea și antrenarea metalului.

În figura 35.8 este ilustrată influența frecării exterioare în cazul deformării unei piese cilindrice prin compresiune. La acțiunea forței de deformare P, la interfața metal-scule apar forțe de frecare T, orientate în direcția opusă deplasării materialului. Influența frecării este mai vizibilă în zonele de frînare a deformării, reprezentate prin hașură dublă. În aceste zone mai puțin deformate la rece, duritatea este mai mică.

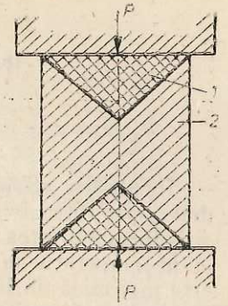


Fig. 35.8. Influența frecării exterioare asupra deformării prin compresiune: 1 — zona deformației plastice reduse; 2 — zona deformației plastice ridicate.

Pentru descrierea frecării de contact se folosește frecvent legea Amontos-Coulomb care se enunță astfel: forța de frecare specifică τ este proporțională cu presiunea p și este independentă de suprafața de contact, fiind dependentă de natura materialelor în contact:

$$\tau = \mu p, \qquad (35.7)$$

unde μ este coeficientul de frecare ($\mu = 0{,}34$ la oțel pe oțel și cu strat de lubrifiant $\mu = 0{,}06$).

Capitolul 36

ÎNCĂLZIREA ALIAJELOR METALICE ÎN VEDEREA DEFORMĂRII

Încălzirea aliajelor metalice contribuie la ușurarea prelucrării lor prin deformare întrucît rezistența metalului scade odată cu creșterea temperaturii și deformabilitatea se mărește proporțional cu temperatura. Se poate spune că la temperaturile la care are loc deformarea la cald, rezistența la deformare este mai mică de 10—12 ori în comparație cu rezistența aceluiași material la temperatura ambiantă.

1. Instalații de încălzire

Instalațiile de încălzire în care se realizează încălzirea aliajelor în vederea prelucrării prin deformare se împart în:

— cuptoare de încălzire;

— instalații de încălzire electrică prin contact sau prin inducție.

Cuptoarele de încălzire pot fi cu flacără, care folosesc combustibili lichizi sau gazoși, și cuptoare electrice, care utilizează efectul termic al energiei electrice.

În funcție de distribuția temperaturii în spațiul de încălzire, cuptoarele pot fi: discontinue (cu cameră), la care temperatura este constantă în tot spațiul de încălzire, și continue (cu propulsie sau cu vatra rotativă), la care temperatura din spațiul de lucru crește de la locul de încărcare a materialului spre locul de descărcare.

În cuptoarele cu flacără sînt pierderi însemnate de căldură, în principal, prin gazele evacuate, ceea ce duce la un randament scăzut al cuptorului. Construcții mai perfecționate de cuptoare cu flacără sînt prevăzute cu recuperatoare pentru preîncălzirea aerului (la 800—850°C).

Prin folosirea recuperatoarelor, randamentul cuptoarelor tip cameră poate fi mărit cu 10%, iar al cuptoarelor continue cu pînă la 40%.

La cuptoarele cu flacără, încălzirea metalului se produce prin contactul direct al metalului cu produsele de ardere fierbinți.

În figura 36.1 este reprezentat un cuptor cu cameră cu funcționare discontinuă, folosit la încălzirea unor semifabricate de dimensiuni mici și mijlocii. În figura 36.2 este reprezentat un cuptor cu vatră mobilă, folosit la încălzirea unor semifabricate mari sau pentru lingouri.

La aceste cuptoare vatra mobilă se încarcă în afara cuptorului care apoi se introduce în cuptor.

În vederea încălzirii lingourilor pentru laminare se folosesc cuptoare cu propulsie (fig. 36.3), care au spațiul de încălzire de formă alungită și împărțit în trei zone:

— zona de preîncălzire;

— zona de încălzire propriu-zisă;

— zonă de menținere (de egalizare a temperaturii).

În zona de preîncălzire, temperatura de intrare este de 500—600°C și crește la 900—1 000°C, iar în zona de încălzire temperatura atinge 1 300—1 350°C.

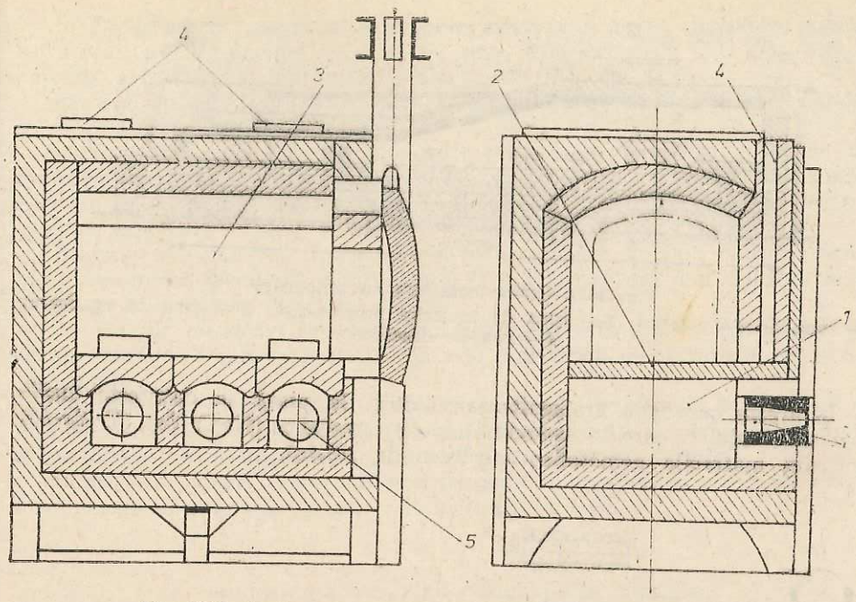


Fig. 36.1. Cuptor cu cameră cu funcționare discontinuă:
1 — cameră de ardere; *2* — vatră; *3* — cameră de lucru; *4* — canale pentru gazele arse; *5* — injectoare.

Deplasarea lingourilor pe vatra cuptorului se realizează fie cu ajutorul unui sistem mecanic, fie prin intermediul vetrei însăși, care se execută în formă de transportor.

Cuptoarele electrice se folosesc, îndeosebi, la încălzirea oțelurilor aliate, a oțelurilor pentru scule și a metalelor și aliajelor neferoase, la care limitele de temperatură la încălzire sînt restrînse. Cuptoarele sînt prevăzute cu rezistențe de încălzire, se fixează în suporturi de material refractar, montate pe pereții laterali, uneori și pe boltă și sub vatră.

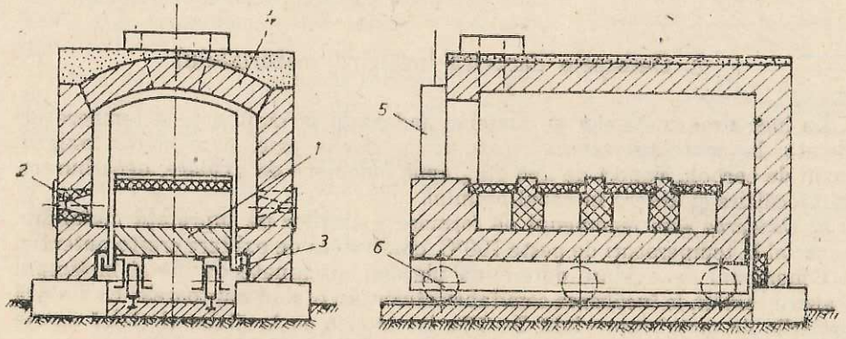


Fig. 36.2. Cuptor cu vatră mobilă:
1 — vatră mobilă; *2* — arzătoare; *3* — sistem de etanșare cu jgheaburi de nisip; *4* — boltă; *5* — ușă; *6* — role pentru deplasarea vetrei.

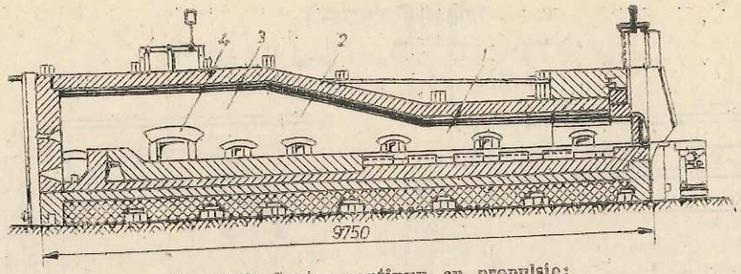


Fig. 36.3. Cuptor continuu cu propulsie:
1 — zona de preîncălzire; *2* — zona de încălzire propriu-zisă; *3* — zona de egalizare; *4* — ușa de descărcare.

În aceste cuptoare, transmiterea căldurii la piesă se datorește încălzirii rezistențelor, care se execută din aliaje metalice (Ni-Cr-Te), (Te-Cr-Al) sau din materiale nemetalice (carbura de siliciu).

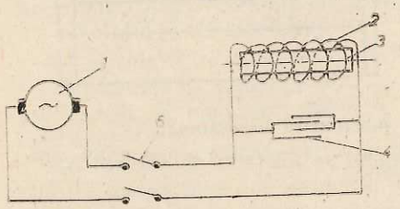


Fig. 36.4. Instalația de încălzire prin inducție:
1 — generator; *2* — inductor; *3* — piesă; *4* — condensator; *5* — întrerupător.

Instalațiile de încălzire prin inducție și prin rezistență se folosesc pentru încălzirea semifabricatelor cu secțiune rotundă sau pătrată din aliaje neferoase și din oțeluri.

În figura 36.4 este reprezentată instalația de încălzire prin inducție, alimentată cu curent electric la frecvența obișnuită de 50 Hz sau la frecvențe înalte de la un generator.

La încălzirea prin inducție, sub acțiunea cîmpului electric, semifabricatul se încălzește întîi la exterior de unde căldura se transmite spre interior.

2. Defectele datorită încălzirii materialului

La încălzirea metalelor și aliajelor, îndeosebi în cuptoare, la temperaturi ridicate, la contactul semifabricatului cu gazele arse, care conțin oxigen, bioxid de carbon, vapori de apă etc., apar fenomene de oxidare, decarburare, supraîncălzire și ardere în cazul oțelului.

a) *Oxidarea* este fenomenul de formare a oxizilor pe suprafața metalului, în special la temperaturi de peste 700°C, cînd viteza de oxidare crește puternic.

Fenomenul de oxidare determină pierderi însemnate de metal în timpul încălzirii. Astfel, la încălzirea semifabricatelor din oțel în cuptoarele cu flacără pierderile de metal reprezintă 2—3%, iar la cele cu încălzire electrică aceste pierderi sînt mai mici de 0,5—1% din volumul semifabricatului.

În tehnica modernă, pentru evitarea acestui defect la încălzire se folosește o atmosferă controlată sau neutră.

b) *Decarburarea* constă în eliminarea carbonului de pe suprafața semifabricatului, pe o adîncime de 1,5—2,0 mm, sub formă de CO, CO_2, CH_4, datorită oxigenului și hidrogenului din cuptor.

Efectul dăunător al decarburării se manifestă printr-o duritate scăzută la suprafața piesei.

c) *Supraîncălzirea* este fenomenul de creștere a grăunților, provocat de temperatura de încălzire prea ridicată sau de durata de menținere prea mare. Efectul dăunător al supraîncălzirii se manifestă prin micșorarea proprietăților mecanice ale pieselor, în special a tenacității.

Eliminarea urmărilor supraîncălzirii se realizează în mod obișnuit printr-un tratament termic de normalizare, la o temperatură mai ridicată decît 900°C, cu o menținere de scurtă durată.

d) *Arderea metalului* are loc cînd încălzirea este foarte apropiată de temperatura de topire sau cînd piesa este mult timp menținută la temperatura înaltă.

La arderea materialului are loc o pătrundere a oxigenului în material și formarea unei rețele de oxizi la limita dintre grăunți și astfel se produce întreruperea continuității materialului, făcîndu-l extrem de fragil.

În astfel de cazuri, materialul este iremediabil compromis și nici un tratament termic ulterior nu-i poate reda calitățile inițiale.

3. Tehnologia încălzirii materialelor metalice

a) *Temperatura de încălzire.* Temperatura de deformare plastică trebuel astfel aleasă încît materialul să aibă o bună plasticitate, atît la începutiu deformării cît și la sfîrșitul acesteia.

În cazul oțelului, temperatura de deformare se determină după diagrama fier-carbon. În figura 36.5 sînt hașurate zonele privind temperatura maximă superioară și temperatura maximă inferioară de deformare plastică. Se observă că, în funcție de conținutul de carbon, temperaturile admisibile de deformare sînt cuprinse între 720 și 1 300°C.

Pentru a se evita supraîncălzirea, temperatura maximă de încălzire trebuie să fie cu circa 200°C sub temperatura de topire a oțelului (linia solidus).

Dacă deformarea are loc la temperaturi mai joase, metalul devine mai dur și mai fragil, existînd tendința de a se produce crăpături.

b) *Viteza de încălzire* reprezintă creșterea temperaturii metalului în unitatea de timp, de obicei într-o oră sau un minut.

Din punct de vedere practic prezintă interes cunoașterea vitezei de încălzire admisibilă, care depinde de proprietățile fizico-mecanice ale materialelor metalice. Dacă se depășește această viteză, atunci pe secțiunea semifabricatului apar tensiuni termice puternice care determină apariția fisurilor și crăpăturilor.

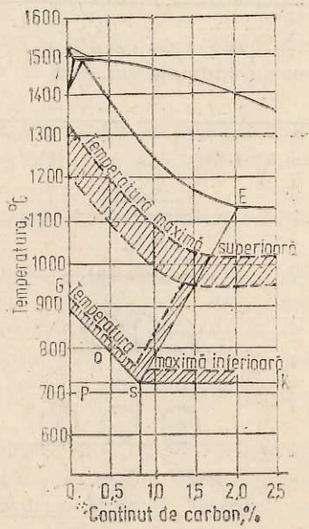


Fig. 36.5. Zona temperaturilor de deformare a oțelurilor.

Tensiunile termice la încălzire nu sînt periculoase în cazul oţelurilor cu conţinut scăzut de carbon, datorită plasticităţii ridicate. În schimb, oţelurile cu conţinut de carbon ridicat şi oţelurile aliate, avînd o plasticitate redusă la temperaturi joase — pînă la 550°C — sînt susceptibile la apariţia fisurilor.

Pentru a se aprecia dacă în timpul încălzirii apar diferenţe mari de temperatură între suprafaţa şi zona centrală a semifabricatului sau lingoului, se poate folosi criteriul Biot (Bi), exprimat prin formula:

$$\mathrm{Bi} = \frac{\alpha R}{\lambda}, \qquad (36.1)$$

în care:

α este coeficientul de transmitere a căldurii prin radiaţie şi convecţie;

R — raza sau latura semifabricatului încălzit, în m;

λ — coeficientul de conductibilitate termică a intervalului, în kcal/m·h·°C.

Potrivit criteriului Biot, dacă $Bi < 0{,}25$ atunci încălzirea se va realiza într-o singură etapă, dacă $Bi > 0{,}25$ atunci semifabricatele se vor încălzi în mai multe etape.

c) *Durata totală de încălzire a semifabricatelor* se poate determina cu relaţia:

$$\tau = k_1 K D \sqrt{D} \qquad (36.2)$$

în care:

k_1 este un coeficient care depinde de modul de aşezare a semifabricatelor în cuptor (fig. 36.6), avînd valori între 1 şi 4;

K — coeficient experimental care ţine seama de conductivitatea termică a materialelor ($K = 12{,}5$ pentru oţelurile carbon şi slab aliate şi $K = 20{,}0$ pentru oţeluri înalt aliate);

D — diametrul semifabricatului încălzit.

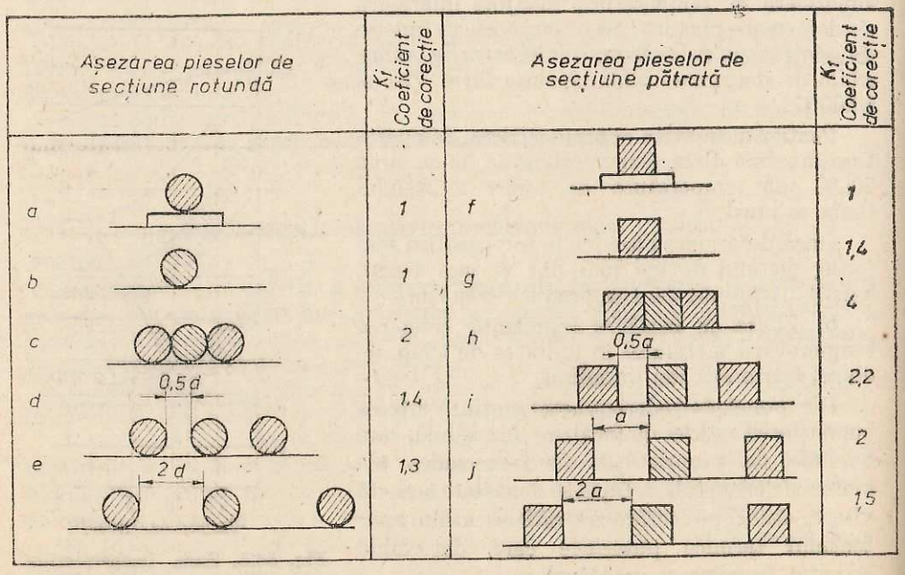


Fig. 36.6. Modul de aşezare a semifabricatelor în cuptor.

d) *Răcirea.* Semifabricatele prelucrate prin deformare plastică la cald din metale şi aliaje cu plasticitate ridicată (oţeluri nealiate cu conţinutul scăzut de carbon, oţeluri slab aliate, aliaje neferoase) se răcesc liber în aer.

În cazul semifabricatelor din oţeluri mediu şi bogat aliate, care prezintă sensibilitate la fisurare şi crăpare, se va aplica o răcire *încetinită* sau *dirijată*.

Tendinţa de fisurare sau crăpare a materialului este determinată de tensiuni termice provocate de diferenţa de temperatură între zona centrală şi suprafaţa piesei.

Răcirea liberă constă în răcirea semifabricatelor în aer, fără a se interveni asupra vitezei de răcire.

Răcirea încetinită se execută în cuptoare sau în gropi cu nisip unde se realizează o viteză redusă de răcire în întregul interval al temperaturilor de răcire.

Răcirea dirijată se execută în cuptoare sau gropi de răcire prevăzute cu arzătoare, astfel încît se poate realiza o anumită viteză de răcire, menţinerea la temperaturi constante şi eventual creşterea temperaturii în limitele stabilite. Acesta este un regim specific de răcire care se aplică unor categorii de oţeluri, aliate cu crom şi nichel, predispuse să formeze defecte cunoscute sub denumirea de „*fulgi*".

4. Măsuri de tehnică a securităţii muncii la încălzirea materialelor metalice şi de prevenire şi stingere a incendiilor

La încălzirea materialelor metalice destinate prelucrării prin deformare plastică se prevăd o serie de măsuri care au drept scop: evitarea exploziilor la cuptoare şi a arsurilor, reducerea conţinutului de gaze nocive, diminuarea radiaţiilor termice etc.

Pentru realizarea acestor deziderate este necesar să fie respectate indicaţiile cu privire la întreţinerea şi exploatarea cuptoarelor de încălzire, inclusiv prevenirea accidentelor.

La exploatarea cuptoarelor de încălzire se vor respecta următoarele măsuri de tehnică a securităţii muncii:

Înainte de pornirea cuptorului se va verifica starea zidăriei, a injectoarelor (arzătoarelor), a ventilatorului, conductelor etc. Eventualele defecţiuni constatate se vor remedia înainte de a începe încălzirea cuptorului.

Înainte de încălzire, cuptorul se ventilează puţin, pentru a evacua gazele care au rămas nearse în cuptor, în caz contrar există pericol de explozie, de avarii şi de accidente.

Aprinderea gazelor se va face prin introducerea unei torţe aprinse în cuptor după care se deschide la început robinetul de aer sau de abur şi apoi cele de gaze sau de păcură. Dacă gazul nu s-a aprins imediat, cuptorul se ventilează din nou şi numai după aceea se introduce din nou torţa pentru aprindere.

Pentru protecția împotriva radiațiilor termice se vor purta haine de protecție, iar cuptoarele vor fi prevăzute cu mijloace de protecție. Dintre mijloacele de protecție la cuptoare se folosesc paravanele din tablă căptușite cu azbest, paravane executate din chesoane răcite cu apă, aplicate direct pe ușa cuptorului și altele.

În timpul funcționării, cuptorul trebuie să fie cît mai mult timp cu ușile complet închise, întrucît deschiderea frecventă a ușilor îngreunează condițiile de lucru prin creșterea temperaturii în secție și în același timp determină creșterea consumului de combustibil.

La oprirea funcționării cuptorului se închide mai întîi robinetul de gaze sau de păcură și după aceea robinetul de aer sau abur. Pentru a se evita o răcire rapidă a cuptorului oprit, se vor închide bine ușile și șubărele de reglare a tirajului.

În cazul cuptoarelor electrice cu rezistențe, pornirea se face pe trepte de putere mică, iar pentru a se realiza trecerea de la o treaptă de putere la alta, cuptorul trebuie să fie oprit.

În secțiile de forjă se găsesc o serie de materiale ușor inflamabile, cum sînt: motorina, păcura și diferite uleiuri. De aceea, există pericolul incendierii acestor materiale cu focul de la arderea combustibililor gazoși sau lichizi sau cu scînteile și materialele metalice încălzite la temperaturi înalte.

Măsurile care trebuie să fie luate pentru a se preveni apariția incendiilor sînt multiple, însă, în principal, se va împiedica contactul dintre flacără, scîntei și materiale metalice încălzite cu materialele inflamabile. În acest scop, în secțiile de forjă se vor amplasa rezervoare cu combustibile, care să nu depășească 5000 l fiecare rezervor, iar conductele de alimentare trebuie să fie prevăzute cu cel puțin două robinete de închidere. Accesul la robinete va fi ușor și tot personalul secției va cunoaște modul de închidere a robinetelor.

Presiunea combustibilului în conductele de alimentare trebuie să fie mai mare de $3 \cdot 10^5$ N/m², iar temperatura de încălzire a păcurii din rezervoare, pentru fluidificare, va fi de 35—40°C.

Pentru stingerea imediată a incendiilor, la fiecare loc de muncă se vor găsi: lăzi cu nisip, lopeți, furtunuri pentru apă, găleți și extinctoare.

Membrii echipelor de lucru vor cunoaște bine sarcinile ce le revin cu privire la folosirea mijloacelor de stingere a incendiilor.

În cazul izbucnirii unui incendiu, echipele de lucru vor acționa cu promptitudine la localizarea și stingerea incendiului și în același timp vor anunța de urgență conducătorul compartimentului respectiv.

5. Aplicații

1. Să se determine regimul de încălzire a unui lingou din oțel carbon cu diametrul de 600 mm. Coeficientul de transfer al căldurii $\alpha = 285$ kcal/m² · h · °C și conductivitatea termică $\lambda = 48$ kcal/m · h · °C.

Aplicîndu-se criteriul Biot (relația 36.1):

$$Bi = \frac{\alpha R}{K} = \frac{285 \cdot 0{,}30}{48} = 1{,}8$$

Prin urmare $Bi > 0{,}25$, lingoul se va încălzi în mai multe etape.

2. Să se calculeze timpul de încălzire a unui lingou de oțel carbon cu diametrul de 800 mm și care se așază în cuptor în două variante:

— un singur lingou în cuptor;

— mai multe lingouri, la distanța $2d$ unul față de celălalt.

În cazul primei variante, $K_1 = 1$ kcal/m² · h · °C, iar la cea de a doua variantă $K_2 = 1{,}3$ kcal/m² · h · °C (fig. 36.6). Coeficientul K pentru oțelurile carbon este 12,5 kcal/m · h · °C. Deci:

$$\tau_1 = K_1 \cdot K \cdot D/\overline{D} = 1 \times 12{,}5 \times 0{,}80/\overline{0{,}80} = 9 \text{ h}$$

$$\tau_2 = K_2 \cdot K \cdot D/\overline{D} = 1{,}3 \times 12{,}5 \times 0{,}80/\overline{0{,}80} = 12{,}7 \text{ h}.$$

3. Să se calculeze durata totală de încălzire a unui semifabricat din oțel aliat avînd latura de 60 mm și care se așază la distanța $0{,}50\,a$ (a fiind latura pătratului). Coeficientul de conductivitate termică $K = 25$ kcal/m · h · °C.

Capitolul 37

PROCEDEE DE PRELUCRARE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

A. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE PRELUCRARE PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

În prezent se cunosc numeroase procedee de prelucrare a metalelor și aliajelor prin deformare plastică, însă în practica industrială se folosește un număr limitat de procedee. Pe baza sloicitărilor exterioare aplicate metalelor și aliajelor, procedeele de prelucrare prin deformare plastică pot fi incluse în cinci grupe, și anume:

1) *Deformarea prin compresiune* realizată, în principal, prin solicitare de compresiune mono- și poliaxială. În această grupă se includ: forjarea liberă, forjarea în matrițe (matrițarea), extrudarea și laminarea.

a) *Forjarea liberă* (fig. 37.1,*a*) constă în comprimarea succesivă a metalului cu ajutorul a două scule (nicovale) montate pe ciocane sau prese din care una fixă și alta mobilă.

b) *Matrițarea* (fig. 37.1,*b*) constă în deformarea simultană în întregul volum al metalului, iar curgerea acestuia este dirijată și condiționată de forma și dimensiunile locașurilor matriței.

c) *Extrudarea* (fig. 37.1,*c*) constă în deformarea sub acțiunea presiunii exercitată asupra metalului, care este obligat să curgă printr-o matriță, preluînd profilul acesteia.

d) *Laminarea* (fig. 37.1,*d*) constă în deformarea metalului între doi cilindri cu axele paralele care se rotesc continuu în sensuri opuse. Odată cu deformarea propriu-zisă, cilindrii realizează și avansul metalului, datorită frecării dintre suprafețele cilindrilor și ale metalului.

2) *Deformarea prin tracțiune-compresiune* constă în deformarea metalului printr-o solicitare compusă de tracțiune și compresiune. Din această grupă fac parte: trefilarea și tragerea barelor și a țevilor și ambutisarea adîncă.

a) *Trefilarea sîrmelor și tragerea barelor* (fig. 37.1,*e*) constă în tragerea unei sîrme sau a unei bare prismatice cu o forță axială (de tracțiune) prin orificiul unei scule numită *filieră*, cu secțiunea transversală mai mică decît a materialului inițial.

b) *Tragerea țevilor* (fig. 37.1, *f*) este procedeul în care țeava laminată este deformată prin tracțiune, între o filieră și un dorn care determină diametrul interior al țevii și grosimea de perete.

c) *Ambutisarea adîncă* (fig. 37.1, *g*) constă în modificarea unui semifabricat de formă plană pînă la forma cavă sau mărirea adîncimii unui produs cav, cu sau fără modificarea voită a grosimii pereților.

3) *Deformarea prin tracțiune* constă în deformarea plastică a metalului printr-o solicitare de tracțiune mono- sau poliaxială. În această grupă se includ alungirea, lățirea și adîncirea.

4) *Deformarea prin încovoiere* se obține printr-o solicitare de încovoiere, aplicată unui semifabricat plan; încovoierea poate fi realizată liber sau în matriță (fig. 37.1, *h*)

5) *Deformarea prin forfecare* constă în deplasarea prin răsucire a unei porțiuni de semifabricat față de altele, ca de exemplu la răsucirea manetoanelor de la arbori cotiți (fig. 37.1, *i*).

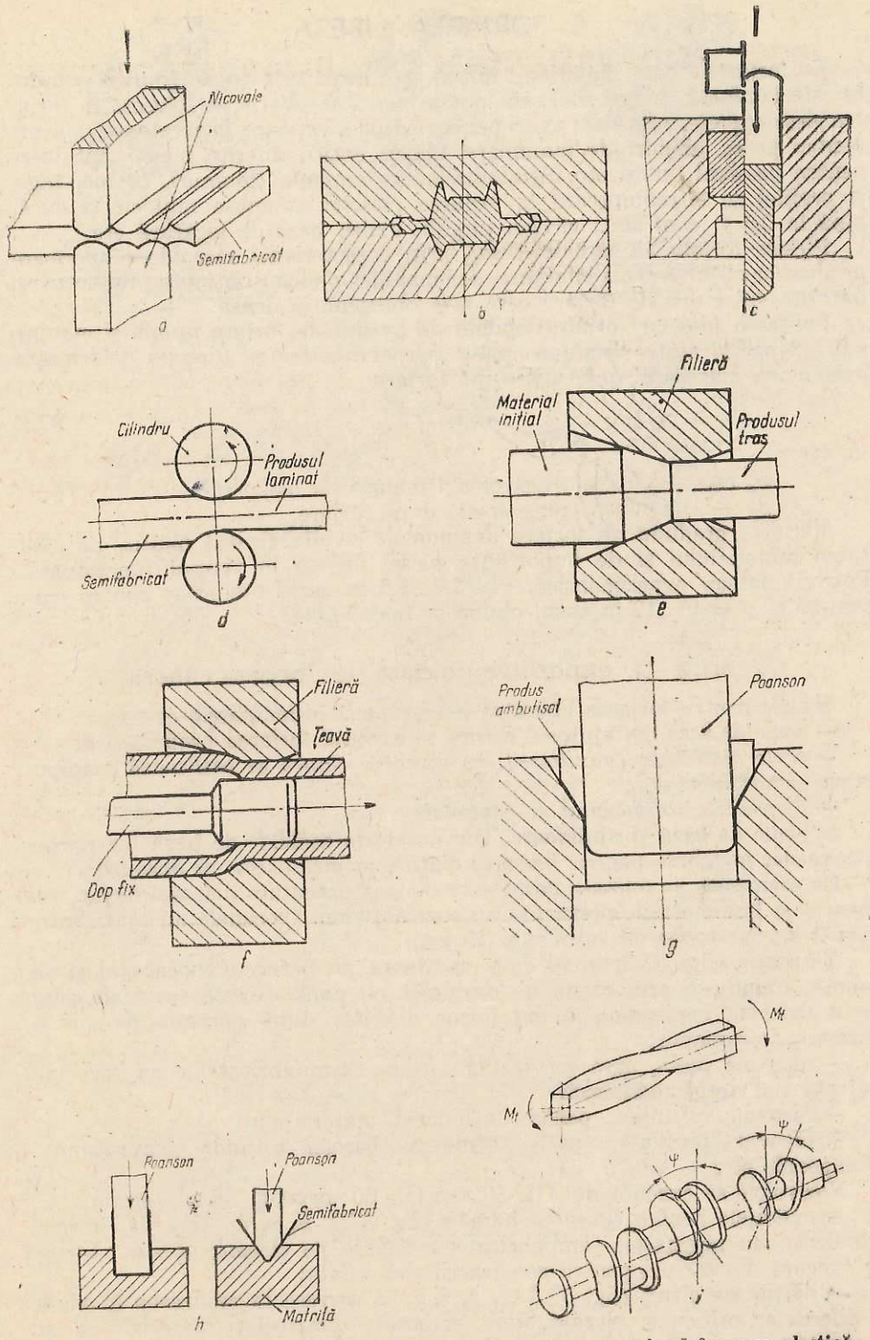


Fig. 37.1. Schemele principalelor procedee de prelucrare prin deformare plastică.

B. FORJAREA LIBERĂ

La forjarea liberă materialul inițial este constituit din lingouri și semifabricate laminate. Lingourile, care pot atinge 250—300 t, se folosesc la forjarea pieselor grele, cum sînt: axuri pentru turbine, vapoare, generatoare, coloane pentru prese, cilindri de laminoare, arbori cotiți, diferite inele, containere pentru presiuni înalte etc. Semifabricatele laminate (blumuri, brame, țagle și profile) se întrebuințează la forjarea pieselor cu masa mijlocie și mică, pînă la 0,5 t, cum sînt: cîrlige, pîrghii, axuri, bare de legătură etc.

Piesele forjate se caracterizează prin caracteristici mecanice superioare produselor obținute prin laminare, dar mai ales pieselor obținute prin turnare, datorită structurii de forjare care este omogenă și densă.

Calitatea pieselor forjate depinde de gradul de forjare numit și caroiaj, adică raportul dintre secțiunea piesei perpendiculară pe direcția deformației principale, măsurată înainte și după forjare:

$$\varphi = \frac{S_0}{S_f}, \qquad (37.1)$$

în care:

S_0 este secțiunea transversală înainte de forjare;

S_f — secțiunea transversală după forjare.

Mărimea gradului de forjare depinde de semifabricatul folosit, de calitatea materialului și de importanța piesei forjate în timpul funcționării. Potrivit datelor experimentale, $\varphi = 2{,}5...4{,}0$ în cazul oțelurilor pentru construcții și $\varphi = 10...12$ în cazul oțelurilor înalt aliate.

1. Scule și dispozitive folosite la forjarea liberă

Sculele pentru forjarea liberă se pot grupa în următoarele categorii:

— *scule de bază*, cu ajutorul cărora se execută forjarea propriu-zisă;

— *scule ajutătoare (auxiliare)*, cu ajutorul cărora se realizează manipularea semifabricatelor;

— *dispozitive de măsurat și controlat.*

a. **Scule de bază și ajutătoare.** Din categoria sculelor de bază fac parte: nicovalele, matrițele pentru finisare, dălțile, întinzătoarele și dornurile.

De asemenea, se folosesc baroase și ciocane executate din oțel forjat, cementat și îmbunătățit, prevăzute cu cozi de lemn. Ciocanele au masa între 1 și 2 kg, iar baroasele între 3 și 15 kg.

Nicovalele (fig. 37.2, *a*, *b*, *c*) se montează pe berbecul ciocanului și pe șabotă, fixîndu-se prin coadă de rîndunică cu pană. Aceste scule au rolul de a deforma materialul, avînd forme diferite, după operația pe care o execută, de exemplu:

— nicovale plate, care servesc la forjarea semifabricatelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară;

— nicovale rotunjite, pentru întinderea materialului;

— nicovale profilate, pentru întinderea barelor rotunde, semirotunde, hexagonale etc.

Nicovalele se execută din OL 50 sau OL 60 forjat și tratat termic;

— matrițele pentru finisarea barelor (fig. 37.2, *d*, *e*, *f*), care dau forme cilindrice sau prismatice semifabricatelor întinse pe ciocan; aceste matrițe se execută din oțeluri pentru construcții slab aliate;

— dălțile de gîtuit (fig. 37.2, *g*, *h*, *i*, *j*, *k*) servesc la realizarea în piese a diferitelor orificii și alezaje, fiind executate din același material ca și matrițele;

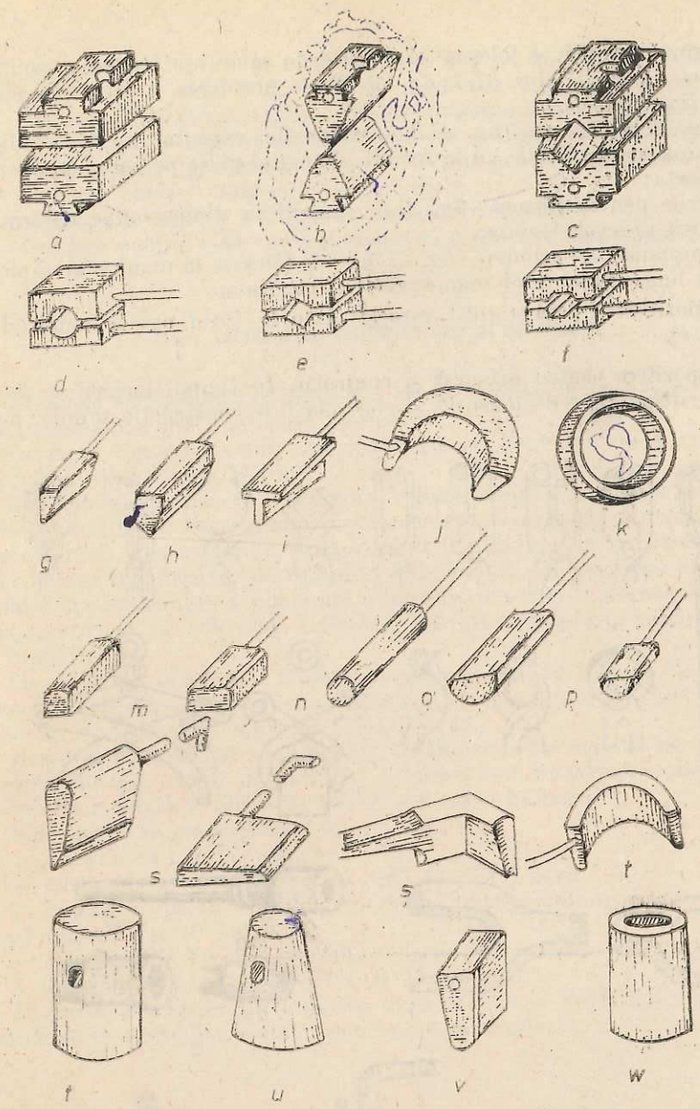


Fig. 37.2. Scule de bază la forjarea liberă.

— întinzătoarele și netezitoarele (fig. 37.2, *l*, *m*, *n*, *o*, *p*) se folosesc pentru întinderea și netezirea suprafețelor; ele pot avea diferite secțiuni: pătrate, dreptunghiulare, ovale etc.;

— topoarele de tăiat la cald (fig. 37.2, *r*, *s*, *ş*, *t*), utilizate la tăierea materialului, putînd avea diferite forme, în funcție de profilul secțiunii materialului de tăiat;

— dornurile (fig. 37.2, *ţ*, *u*, *v*, *w*) servesc la perforarea materialului pentru obținerea alezajelor de diferite forme și la netezirea lor după perforare.

În timpul forjării se folosesc și o serie de scule ajutătoare, și anume:

— cleștii de forjă (fig. 37.3, *a*), folosiți la prinderea și mînuirea pieselor calde în timpul forjării;

— cleștele de macara (fig. 37.3, *b*) este astfel executat încît, la ridicarea cîrligului macaralei, fălcile lui se închid, strîngînd piesa pe care o poate ridica și transporta;

— furcile pentru răsucit (fig. 37.3, *c*) care au dimensiunile determinate de mărimea pieselor forjate;

— manșoanele de prindere (fig. 37.3, *d*) se folosesc la manipularea pieselor grele și a lingourilor, fiind manevrate cu macaraua;

— dispozitivele pentru rotit piesele grele în jurul axelor longitudinale (fig. 37.3, *e*).

b. **Dispozitive pentru măsurat și controlat.** În timpul forjării se folosesc o serie de dispozitive de măsurat și controlat, de construcție simplă, pentru

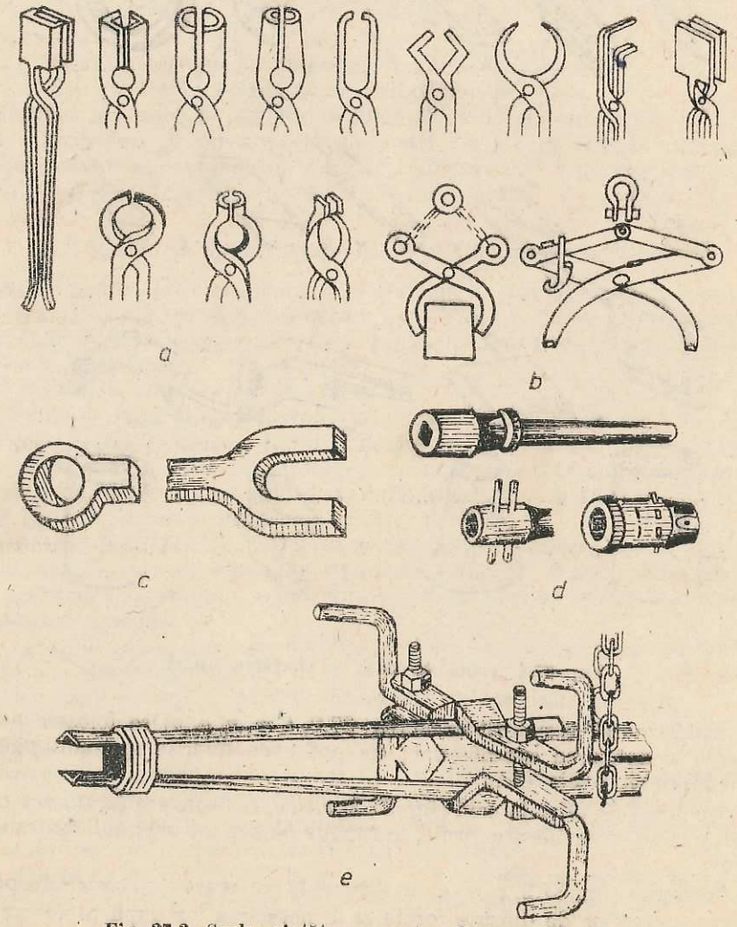


Fig. 37.3. Scule ajutătoare pentru forjarea liberă.

verificarea dimensiunilor și formei piesei forjate. Astfel, pentru măsurarea secțiunilor transversale, lungimilor și unghiurilor se folosesc:

— compasul simplu, compasul dublu, compasul triplu și compasul de interior, care servesc la măsurarea alezajelor sau a degajărilor din piesă;

— rigla metalică gradată sau metrul metalic pentru măsurarea lungimilor;

— echerul pentru verificarea unghiurilor;

— șabloanele pentru verificarea formelor complexe;

— șublere pentru măsurarea pieselor cu o precizie mai ridicată.

2. Utilaje folosite la forjarea liberă

Ciocanele sînt folosite la producția de serie mică sau mijlocie; ele pot fi: vapopneumatice, pneumatice și mecanice.

Ciocanele vapopneumatice sînt acționate cu abur sau cu aer comprimat la presiuni de 0,7—0,9 MN/m².

Din figura 37.4 rezultă principiul de funcționare a unui ciocan vapopneumatic. Aburul sau aerul comprimat furnizat de o stație centrală este adus prin conducta *1* în camera de distribuție *2*, de unde, prin intermediul sertărașului *3* și al canalului *4*, pătrunde în cilindrul *5*, sub pistonul *6*. În această situație are loc ridicarea pistonului împreună cu tija *9*, berbecul *10* și nicovala superioară *11*. Nicovala inferioară *12* este montată în șabota *13*, fixată în fundația *14*.

La ridicarea pistonului, aburul sau aerul care se află în cilindru de la cursa precedentă este evacuat prin canalul *7* și conducta *8*. Comanda ciocanului se realizează cu ajutorul pîrghiilor *15*.

Regimul de lucru al unui ciocan vapopneumatic constă din: lovituri cu energia variată, cursa de ridicare a berbecului, menținerea berbecului în poziția suspendată și cursa de coborîre lentă a berbecului.

Ciocanele vapopneumatice pot fi:

— cu una sau două coloane;

— cursa berbecului de la 200 pînă la 2 500 mm;

— greutatea părților mobile (berbecul, tija, pistonul și nicovala superioară) între 75 și 10 000 daN;

— numărul de lovituri pe minut de la 50 la 300;

— energia de impact între 100 și 25 000 daJ.

În cazul ciocanelor, deformarea materialelor se realizează datorită energiei cinetice a părților mobile, exprimată prin relația:

$$E = \frac{mv^2}{2}, \qquad (37.2)$$

în care:

m este masa părților mobile;

v — viteza de impact.

Viteza de impact a părților mobile, prin cădere liberă de la înălțimea H, se calculează cu relația:

$$V = \sqrt{2gH}. \qquad (37.3)$$

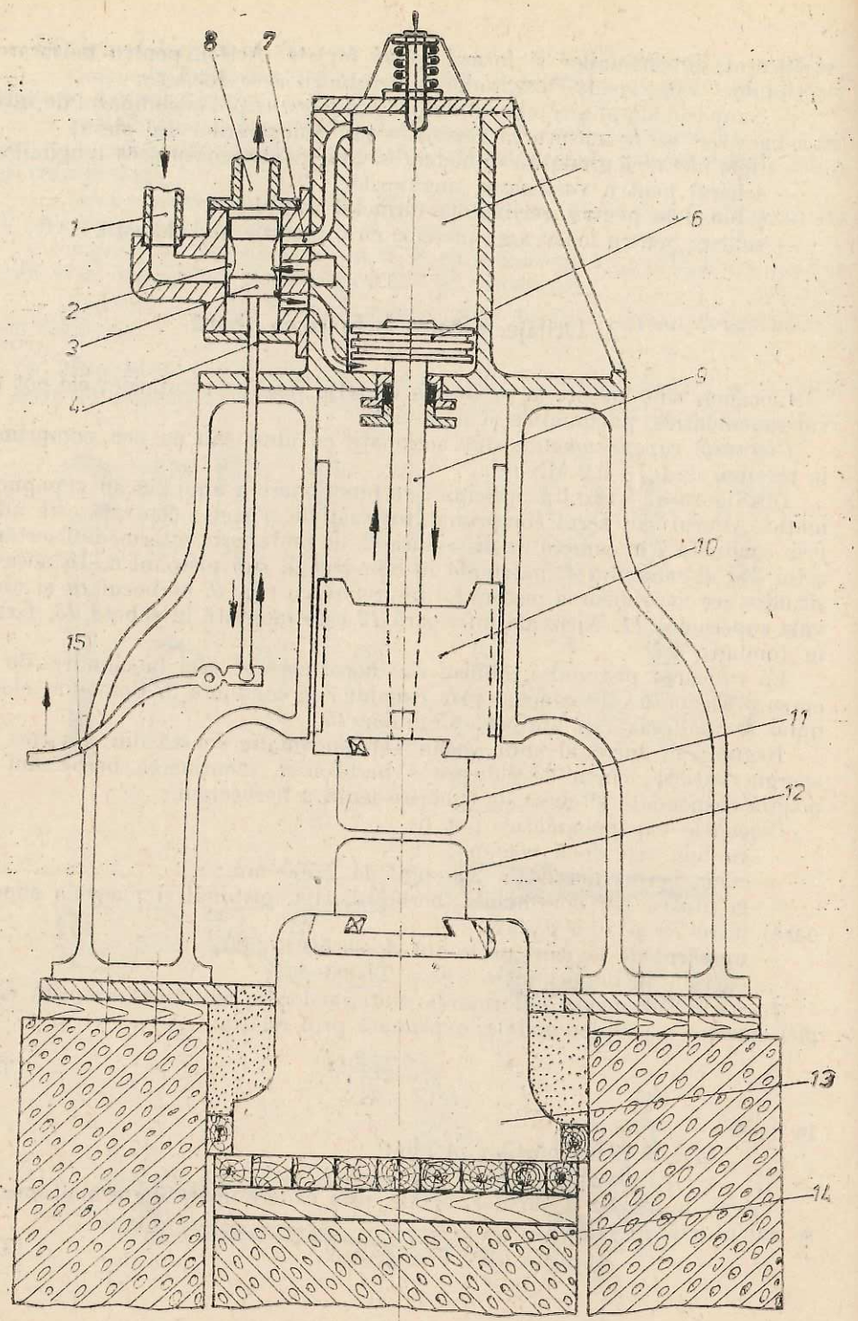


Fig. 37.4. Ciocan vapopneumatic cu două coloane.

Pentru a se mări puterea ciocanului este necesar să fie accelerată viteza de impact, întrucît dimensiunile ciocanului sînt limitate. Acest lucru se realizează prin acțiunea presiunii p dată de abur sau aer comprimat asupra pistonului ciocanului.

În cazul unui cilindru cu diametrul d, viteza de impact va fi:

$$v = \sqrt{2\left(g + \frac{0{,}25\ \pi p d^2}{m}\right)H}. \qquad (37.4)$$

La ciocane vapopneumatice viteza berbecului este de 7—8 m/s, iar durata impactului de aproximativ 10^{-3} s.

La forjare numai o parte din energia E produce deformarea materialului; cealaltă parte [$\Delta E = E(1 - \eta)$] este transmisă suportului nicovalei inferioare (șabota).

Prin urmare, randamentul unui ciocan de forjare este:

$$\eta = \frac{M}{M + m}(1 - K^2), \qquad (37.5)$$

în care:

M este masa șabotei;

K — coeficient (pentru oțeluri la temperaturi de 1050—1150°C, $K = 0{,}05...0{,}25$).

Lucrul mecanic al unei singure lovituri a ciocanului este:

$$L = \bar{p}_m \cdot V \cdot \varepsilon_1, \qquad (37.6)$$

în care:

$\bar{p}_m$ este presiunea specifică medie, în daN/mm²;

V — volumul piesei de prelucrat, în m³;

ε_1 — gradul de refulare a unei lovituri $\left(\varepsilon_1 = \ln \frac{h_0}{h}\right)$;

h_0 — înălțimea inițială; h — înălțimea după refulare.

În timpul forjării, energia de mișcare se transformă în lucru mecanic de deformare, de aceea se poate scrie:

$$\frac{Gv^2}{2g} \cdot \eta = \bar{p}_m \cdot V \cdot \varepsilon_1. \qquad (37.7)$$

Din relația (37.7) se obține masa părților mobile ale ciocanului:

$$G = \frac{2g \cdot \bar{p}_m \cdot V \cdot \varepsilon_1}{v^2 \cdot \eta}. \qquad (37.8)$$

Pentru ca pierderile de energie în vibrații, zgomote etc. să fie cît mai mici este necesar ca raportul dintre masa șabotei și a părților mobile să se adopte în limitele 15—20.

Ciocanele pneumatice (fig. 37.5) lucrează numai cu aer comprimat. Motorul electric *1*, prin intermediul roților dințate *2*, transmite mișca-

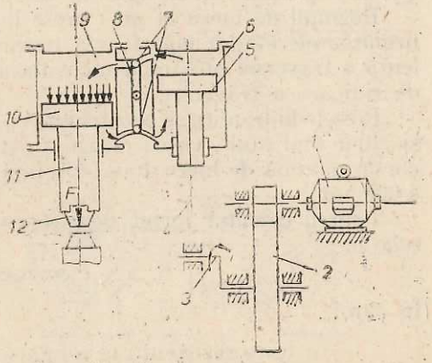


Fig. 37.5. Schema unui ciocan pneumatic.

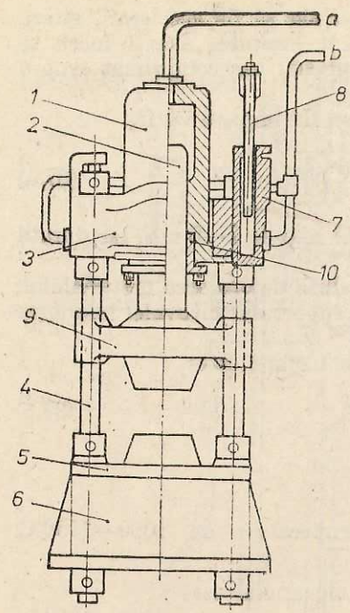


Fig. 37.6. Schema unei prese hidraulice.

rea de rotație arborelui cu manivelă *3*, care, prin biela *4*, imprimă mișcarea pistonului *5*, astfel că acesta se deplasează în cilindrul compresor *6*. Pistonul *10* se deplasează în cilindrul de lucru *9*, fiind cuplat cu berbecul *11*, de care se fixează nicovala superioară *12*. În canalele de legătură dintre cei doi cilindri sînt montate ventilul orizontal *7* și ventilul central *8*.

După poziția ventilelor față de canalele de legătură cu cilindrul de lucru și cu cilindrul compresor, ciocanul pneumatic are cinci regimuri de funcționare: în gol, menținerea berbecului în pozițiile suspendate, lovituri automate, lovituri individuale și lovituri de presare.

Ciocanele pneumatice intră în dotarea secțiilor de forjă, în special, în întreprinderile mici, care nu dispun de o unitate centrală de aer sau de abur comprimat.

În categoria ciocanelor mecanice intră toate tipurile de ciocane acționate prin transmisie.

După modul de acționare, ciocanele mecanice pot fi: *cu arc*, *cu scîndură*, *cu lanț*, *cu curea* etc. Deoarece aceste ciocane au masa părților mobile pînă la 250—300 kg ele se folosesc tot mai rar în secțiile de forjă moderne.

Presele hidraulice (fig. 37.6) sînt folosite la forjarea pieselor grele. Cilindrul principal *1*, în care se deplasează plunjerul *2*, este fixat de traversa superioară *3*. Aceasta este legată cu traversa inferioară *5* prin două sau patru coloane *4*, fixate în batiul *6*.

Presiunea necesară forjării pieselor este dată de plunjerul *2* care pune în mișcare traversa mobilă *9* numai în cursa de lucru. Traversa mobilă poate fi ridicată cu ajutorul plunjerului *8* din cilindrul *7*. Etanșarea cilindrului-plunjer se realizează cu ajutorul unor bucșe de bronz *10*, numite *presetupe*. Țevile *a* și *b* servesc la admisia mediului hidraulic.

Regimul de lucru al unei prese hidraulice de forjare poate fi împărțit în următoarele etape: menținerea traversei mobile în poziția de sus, coborîrea lentă a traversei pînă cînd nicovala atinge piesa, presarea metalului și cursa de ridicare a traversei.

Presele hidraulice se construiesc cu forțe de presare de la 5 MN la 150 MN și chiar mai mult, cursa maximă a traversei mobile de 800—3 500 mm, iar cursa maximă de lucru 100—300 mm și deschiderea între coloane de 1 000—4 000 mm.

Pentru calculul forței de presare la refulare, se folosește următoarea relație:

$$P = \sigma_d S \bar{p}_m \text{ [daN]}, \qquad (37.9)$$

în care:

σ_d este rezistența la refulare a materialului la temperatura de lucru, în daN/mm²;

S este secțiunea transversală a piesei după refulare, în mm²;

$\bar{p}_m$ — presiunea specifică medie $\left(\bar{p}_m = 1 + \frac{1}{3}\mu\frac{d}{h}\right)$, μ fiind coeficientul de frecare, d și h — diametrul și respectiv înălțimea produsului refulat.

3. Operații de forjare liberă

Principalele operații de forjare liberă sînt: refularea, întinderea, gîtuirea, găurirea, îndoirea, răsucirea și tăierea.

Refularea (fig. 37.7,*a*) este operația prin care în timpul deformării se reduce înălțimea semifabricatului și se mărește suprafața secțiunii transversale.

Prin refulare se obțin piese cu secțiune mare și înălțime mică, cum sînt: flanșe, discuri, pinioane, discuri perforate etc. Piesele obținute prin refulare au o structură compactă și caracteristici mecanice superioare.

Gradul de deformare este:

$$\varepsilon_1 = \ln\frac{h_0}{h} = \ln(1-\varepsilon). \qquad (37.10)$$

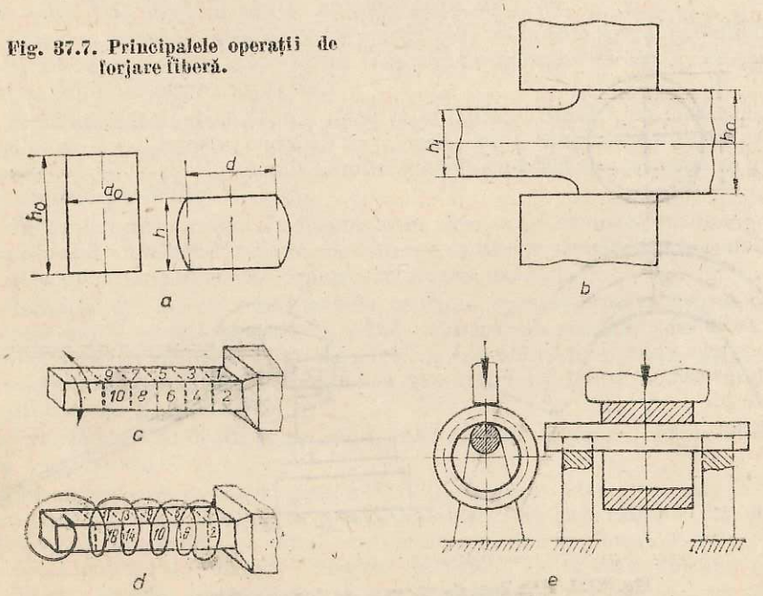
Volumul deplasat prin refulare se calculează cu relația:

$$V_d = V \cdot \ln\frac{h_0}{h} \simeq V\,\frac{\Delta h}{h_0}, \qquad (37.11)$$

unde V este volumul piesei.

Pentru executarea corectă a refulării trebuie ca raportul dintre înălțimea inițială h_0 a semifabricatului și diametrul său d_0 să fie suficient de mic,

Fig. 37.7. Principalele operații de forjare liberă.



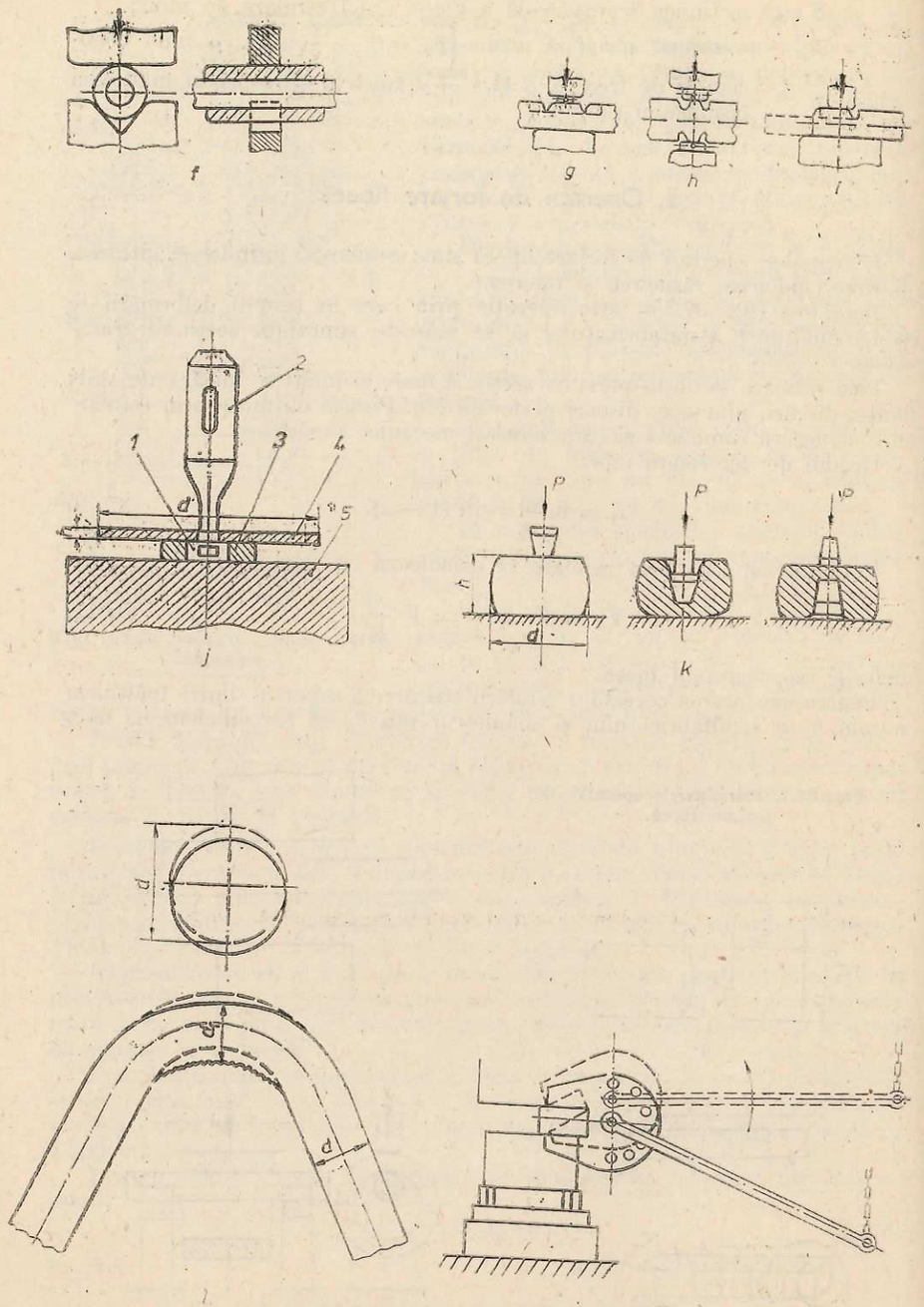


Fig. 37.7. Principalele operații de forjare liberă

adică $h_0 < 2{,}5\ d_0$. La un raport mai mare se produce flambarea semifabricatului.

Operația de refulare se execută la prese sau la ciocane de forjare liberă mecanică, fie între nicovalele plate, fie în matrițe de mină.

Întinderea (fig. 37.7, *b*) este operația de forjare prin care se obține creșterea lungimii semifabricatului și micșorarea secțiunii lui transversale. Înălțimea inițială a semifabricatului este h_0, iar după prima întindere h_1.

Întinderea se poate realiza fie prin rotirea semifabricatului cu 90° după fiecare lovitură (fig. 37.7, *c*), fie prin rotire în spirală (fig. 37.7, *d*), în funcție de deformabilitatea materialului. Cifrele de la *1—18* reprezintă numărul loviturii ciocanului.

Aplicațiile operației de întindere sînt multiple, de exemplu: forjarea pe dorn a inelelor cu diametru mare (fig. 37.7, *e*), forjarea pieselor tubulare lungi (fig. 37.7, *f*).

Gradul de forjare final reprezintă produsul gradelor de forjare corespunzătoare pentru fiecare lovitură de ciocan sau presare:

$$\lambda_t = \frac{S_0}{S_n} = \frac{S_0}{S_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} \ldots \frac{S_{n-1}}{S_n} \lambda_1 \cdot \lambda_2 \ldots \lambda_n \qquad (37.12)$$

Lungimea finală a piesei forjate prin întindere va fi:

$$L_f = L_0 \cdot \lambda_t \cdot L_0, \qquad (37.13)$$

unde L_0 este lungimea inițială.

Gîtuirea este o operație ajutătoare la întindere. De exemplu, în unele piese trebuie întinsă numai o porțiune sau numai un capăt, restul rămînînd cu secțiunea nemodificată. Porțiunea respectivă se marchează cu ajutorul gîtuitoarelor.

Gîtuirea se poate executa pe o singură față a piesei (fig. 37.7, *g*), pe două fețe opuse (fig. 37.7, *h*) sau la un capăt (fig. 37.7, *i*).

Găurirea este operația de forjare prin care se obține într-un semifabricat, cu ajutorul unuia sau mai multor dornuri, un gol care străbate complet sau parțial semifabricatul respectiv.

Semifabricatele de înălțime mică ($h < 0{,}5\ d$, h fiind înălțimea semifabricatului și d — diametrul găurii) se găuresc pe o singură parte pe un inel-suport (fig. 37.7, *j*). În schimb semifabricatele cu înălțimi mai mari se găuresc din ambele părți (fig. 37.7, *k*).

Îndoirea este operația de forjare prin care se dă semifabricatului o formă curbă după un anumit contur, în vederea obținerii directe sau în combinație cu alte operații a diferitelor piese de formă îndoită.

Îndoirea are loc cu modificări de secțiune, care se produc fără ca acestea să reprezinte scopul operației. Astfel, o bară de secțiune circulară după îndoire se va deforma conform figurii 37.7, *l*, deformația producîndu-se numai în porțiunea îndoită. Îndoirea efectuată în matriță înlătură neajunsul datorat modificării de secțiune.

Prin îndoire se obțin piese, cum sînt: colțare, corniere, cleme, bride, cîrlige, scoabe etc.

Răsucirea este operația prin care o porțiune a unei piese este rotită în jurul axei sale față de altă porțiune a aceleiași piese care rămîne fixă. Această operație se aplică fie la semifabricatele de secțiune uniformă, care iau astfel un profil special de răsucire (burghie elicoidale), fie la piese care au proeminențe care trebuie orientate în plane și unghiuri diferite una față de cealaltă.

Este cazul tipic al arborilor cotiți cu manetoanele decalate la unghiuri diferite unul față de celălalt.

Operația se execută pe prese hidraulice prin fixarea unei părți a piesei între nicovale și răsucirea părții indicate în jurul axei longitudinale (fig. 37.7, *m*).

Tăierea constă în detașarea unei părți din piesa forjată sau în separarea a două piese forjate împreună.

4. Întocmirea procesului tehnologic la forjarea liberă

La întocmirea tehnologiei de forjare se execută o serie de lucrări, cum sînt:

— întocmirea desenului piesei forjate;
— determinarea masei și a dimensiunilor materialului de pornire;
— elaborarea planului de operații și a instrucțiunilor tehnologice speciale.

Desenul piesei forjate (fig. 37.8) se execută pornindu-se de la desenul piesei finite, căruia i se aplică adaosurile de prelucrare și toleranțele de forjare, adaosurile tehnologice și adaosurile pentru epruvete necesare la încercări mecanice.

Adaosurile de prelucrare și abaterile limită sînt standardizate (STAS 2171-70) pentru diversele tipuri de piese de oțel forjate liber.

Adaosurile tehnologice se determină în funcție de posibilitățile de execuție ale utilajului de forjare și de prelucrare prin așchiere, iar adaosurile pentru epruvete se stabilesc conform dimensiunilor indicate în standarde și normele interne ale întreprinderilor, în cazul în care aceste încercări nu sînt indicate în desenul piesei finite.

Masa și dimensiunile materialului de pornire se determină în funcție de densitatea și volumul piesei forjate calculat pe porțiuni cu forme geometrice simple la care se adaugă și volumul racordărilor.

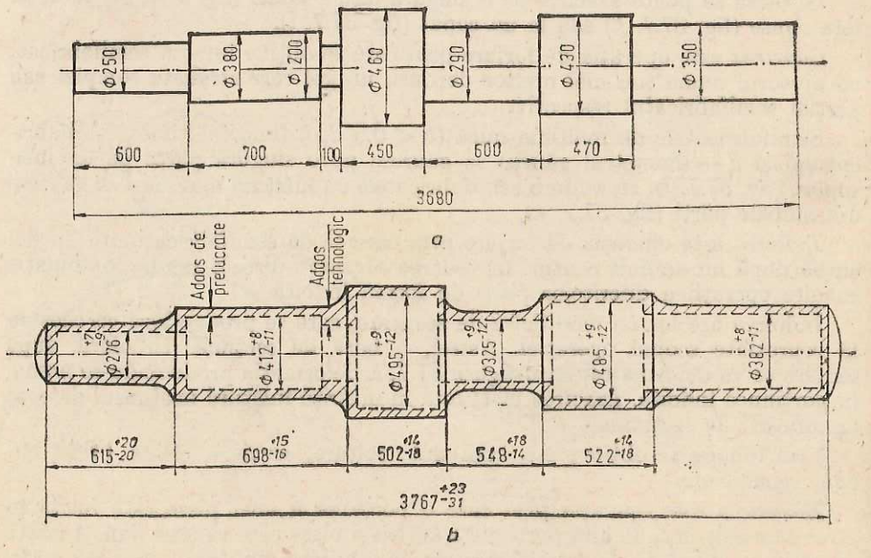


Fig. 37.8. Piesa forjată liber cu secțiune variabilă:
a — piesa finită; *b* — piesa forjată.

La masa piesei forjate se adaugă pierderile prin tăierea capetelor, bavuri (dacă este cazul) și ardere. Ținînd seama de forjarea indicată de constructor, se stabilesc dimensiunile secțiunii transversale a materialului inițial.

În cazul forjării pieselor din lingou, se ține seama de *gradul de forjare* și de *indicele de utilizare a lingourilor*, știindu-se că față de masa lingoului, intervin pierderi prin îndepărtarea maselotei și a piciorului.

Masa semifabricatului G_{sf} necesar forjării unei piese se determină cu relația:

$$G_{sf} = G_p + \frac{G_s}{100}(m + p + ar + bav), \qquad (37.14)$$

în care:

G_p este masa piesei forjate;
G_s — masa semifabricatului;
m — pierderi prin tăierea maselotei;
p — pierderi prin tăierea piciorului;
ar — pierderi prin ardere;
bav — pierderi prin bavură, în cazul pieselor perforate.

Pierderile de mai sus sînt date, în procente din greutatea lingoului pentru oțeluri carbon și aliate (crom-nichel și nichel), în tabelul 37.1

TABELUL 37.1

Pierderi în procente din masa lingoului

Pierderi	Oțeluri carbon %	Oțeluri aliate %
Ardere *ar*	4,5	3,5—4
Piciorul lingoului *p*	6—7	7—9
Maselotă *m*	18—20	26—33
Bavură la perforare cu dorn inelar *bav*	4—4,5	4,5—4,7

Planul de operații cuprinde: succesiunea desfășurării operațiilor și fazelor de forjare de la semifabricatul brut pînă la piesa forjată, indicații cu privire la utilajele și sculele de forjare, regimul de încălzire, forjare și răcire a materialului.

Stabilirea unei tehnologii corecte de forjare duce la execuția pieselor cu un consum minim de material, combustibil și de manoperă de forjare și de prelucrare ulterioară prin așchiere.

La elaborarea planului de operații se ține seama de următoarele elemente: felul producției (individuală, de serie mică sau mijlocie), natura, forma și dimensiunile materialului, utilajul, sculele, dispozitivele și mijloacele de manipulare și transport și de instalațiile de încălzire.

Pentru piese importante și în serie se mai întocmesc și instrucțiuni tehnologice speciale care însoțesc planul de operații. Aceste instrucțiuni cuprind indicații cu privire la:

— regimul de încălzire (temperatura și durata de încălzire, tipul cuptorului, modul de așezare a pieselor în cuptor);
— reîncălzirea metalului între operațiile de forjare:
— regimul de răcire după forjare (viteza, durata și mediul de răcire);
— tratamentul termic primar aplicat pieselor forjate.

5. Aplicații

1. Să se determine diametrul final d_f și reducerea Δh în cazul unei piese din oțel carbon forjată prin refulare dintr-un semifabricat inițial cu dimensiunile: $d_0 h_0 = 100 \cdot 160$ mm. Înălțimea piesei după forjare $h_f = 60$ mm, iar gradul de deformare pe lovitură $\varepsilon = 0{,}12$.

— Diametrul final:

$$d_f = d_0 \sqrt{\frac{d_0}{h_f}} = 100 \sqrt{\frac{100}{60}} = 130 \text{ mm}$$

— Reducerea obținută la refulare:

$$\Delta h = \frac{h_f \cdot \varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{60 \cdot 0{,}12}{1 - 0{,}12} \simeq 8{,}2 \text{ mm}.$$

2. Să se calculeze masa părții mobile a ciocanului necesar la forjarea piesei cu dimensiunile din aplicația 1. Randamentul ciocanului $\eta = 0{,}80$, iar viteza de impact $v = 6$ m/s. Rezistența la deformare a oțelului $\sigma_d = 90$ N/mm², iar presiunea medie $\bar{p}_m = 120$ daN/mm². Deci:

$$M = \frac{P \cdot \Delta h \cdot 2g}{\eta \cdot v^2} = \frac{\pi \cdot d_f^2}{4} \cdot \bar{p}_m \cdot \sigma_d \frac{\Delta h \cdot 2g}{\bar{p}_m \cdot v^2} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}13^2}{4} 1{,}2 \cdot$$

$$\cdot 90 \frac{0{,}0082 \cdot 2 \cdot 9{,}8}{0{,}8 \cdot 6^2} = 800 \text{ kg}$$

Ținînd seama de ciocanele aflate în dotarea secțiilor de forje rezultă că se va folosi un ciocan cu $M = 1\,000$ kg.

3. Să se determine numărul de lovituri necesare forjării piesei cu dimensiunile inițiale $d_0 = 100$ mm și $h_0 = 100$ mm, iar după refulare $h_f = 60$ mm. Rezistența de deformare a oțelului la 1 200°C este $\sigma_d = 87{,}5$ MN/m². Se va folosi un ciocan cu masa părții mobile $M = 1\,000$ kg.

Lucrul mecanic de deformare

$$L = \bar{p}_m \cdot \sigma_d \cdot V \cdot \ln \frac{h_0}{h_f} = 1{,}1 \cdot 87{,}5 \cdot 785 \cdot 10^{-6} \ln \frac{100}{60} = 3{,}9 \cdot 10^{-2} \text{ MN} \cdot \text{m}$$

— Energia unei singure lovituri:

$$E = \frac{M \cdot v^2}{2g} = \frac{0{,}01 \cdot 6^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}0184 \text{ MN} \cdot \text{m}$$

— Numărul de lovituri necesare:

$$n = \frac{L}{\eta E} = \frac{3{,}9 \cdot 10^{-2}}{0{,}80 \cdot 0{,}0184} = 2{,}7, \text{ deci } 3 \text{ lovituri}$$

4. Să se determine forța unei prese hidraulice pentru refularea unui semifabricat dintr-un oțel moale avînd diametrul inițial $d_0 = 250$ mm și înălțimea inițială $h_0 = 250$ m, înălțimea după refulare $h_f = 150$ mm. Reducerea trebuie să fie $\Delta h = 100$ mm; rezistența la deformare, la temperatura de 1 200°C, $\sigma_d = 55$ MN/m², iar coeficientul de frecare exterioară $\mu = 0{,}42$.

— Diametrul piesei refulate:

$$d_f = d_0 \sqrt{\frac{h_0}{h_f}} = 250 \sqrt{\frac{250}{150}} \simeq 325 \text{ mm}$$

— Gradul de deformare:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{100}{250} = 0{,}4$$

— Presiunea medie:

$$\bar{p}_m = 1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d_f}{h_f} = 1 + \frac{1}{3} \; 0{,}42 \frac{325}{150} = 1{,}3$$

— Forța necesară refulării:

$$P = \bar{p}_m \cdot \sigma_d \cdot S_0 = 1{,}3 \cdot 55 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}325^2}{4} = 5{,}9 \text{ MN}.$$

C. FORJAREA ÎN MATRIȚE (MATRIȚAREA)

În cadrul producției moderne, piesele matrițate capătă o pondere tot mai mare, față de cele forjate liber, întrucît matrițarea prezintă o serie de avantaje, și anume:

— consum specific de metal scăzut;
— productivitate ridicată;
— manoperă de prelucrare prin așchiere scăzută;
— uniformitatea și precizia pieselor;
— posibilitatea obținerii unor piese de complexitate și diversitate mare.

În plus, caracteristicile fizico-mecanice ale pieselor matrițate sînt superioare, datorită faptului că la matrițare se obține un fibraj continuu și cu orientare corespunzătoare.

Totuși, extinderea matrițării este limitată datorită costului ridicat al matrițelor, masei limitate a pieselor matrițate și necesității dotării secțiilor de forje cu utilaje specializate.

În funcție de forma constructivă a pieselor și de utilajul folosit, matrițarea poate fi: *deschisă* sau *închisă*.

Matrițarea deschisă se caracterizează prin faptul că formează o bavură care reprezintă o pierdere de metal ca deșeu. Procedeul se aplică frecvent la executarea pieselor matrițate pe ciocane de forjare și mai puțin pe piese mecanice.

Matrițarea deschisă poate fi:

— unilaterală, cînd piesa se realizează într-un locaș, numit *locaș de finisare*, care se execută într-o singură matriță, de obicei, cea inferioară, fiind aplicată pieselor de formă simplă și înălțime mică;

— bilaterală, cînd piesa se obține într-un locaș executat atît în matriță inferioară, cît și în cea superioară, fiind aplicate pieselor de formă mai complicată, cu înălțimi mai mari și cu nervuri.

Matrițarea închisă constă în obținerea pieselor matrițate fără bavură sau cu o bravură foarte mică în comparație cu matrițarea deschisă. Procedeul se aplică frecvent la piese mecanice cu manivelă, la mașini orizontale de forjat și mai rar la ciocane și la prese cu fricțiune.

1. Semifabricate folosite la matrițare

Materialul inițial folosit la matrițare este constituit în cea mai mare parte din semifabricate laminate, de obicei cu secțiunea rotundă și pătrată, avînd diametrul și respectiv latura între 20 și 60 mm.

În funcție de forma și dimensiunile piesei matrițate și de tipul mașinilor de matrițare se folosesc semifabricate debitate pentru una, două sau mai multe piese.

De asemenea, la matrițare se mai utilizează semifabricate laminate cu profil periodic, semifabricate forjate liber, semifabricate turnate și semifabricate sinterizate.

Semifabricatele cu profil periodic se folosesc la producția în masă a pieselor matrițate de dimensiuni mici și mijlocii, mai ales la matrițarea pe prese mecanice.

La matrițarea pieselor de dimensiuni medii și mari cu forme complexe, la producția de serie mică și mijlocie se întrebuințează semifabricate forjate. Pornindu-se de la un semifabricat laminat, acesta se forjează la o formă și dimensiuni apropiate de piesa matrițată.

Procedeul de matrițare a pieselor turnate se aplică la obținerea pieselor cu forme complexe de mărime mijlocie sau mare, în cazul unor metale și aliaje cu deformabilitate redusă. În prezent se folosesc semifabricate turnate din oțel, aliaje de cupru și de aluminiu, precum și din fontă care apoi se supun matrițării.

Semifabricatele sinterizate obținute prin metoda metalurgiei pulberilor, datorită temperaturilor înalte de sinterizare, prezintă o structură grosieră, porozitate ridicată și precizie dimensională redusă. Prin matrițarea acestor semifabricate se obține o creștere a caracteristicilor mecanice și o mărime a densității.

La pregătirea semifabricatelor destinate matrițării pieselor lungi pe ciocane și prese, se ia ca bază semifabricatul teoretic. Semifabricatul teoretic al piesei matrițate are secțiunea circulară, lungimea fiind egală cu cea a piesei matrițate, și secțiunile transversale egale cu secțiunile corespunzătoare ale piesei și ale bavurei.

Semifabricatul teoretic se determină prin metoda grafică, folosindu-se, de obicei, scara 1:1, în raport cu piesa matrițată.

La pregătirea semifabricatului pentru matrițarea pieselor se mai determină semifabricatul mediu și epura secțiunilor semifabricatului mediu.

Semifabricatul mediu are lungimea egală cu lungimea piesei matrițate și secțiunea transversală egală cu secțiunea transversală medie a semifabricatului teoretic. Prin urmare:

$$A_{sm} = \frac{V_{st}}{l_m}, \qquad (37.15)$$

în care: A_{sm} este secțiunea semifabricatului mediu;
V_{st} — volumul semifabricatului teoretic;
l_m — lungimea piesei matrițate.

Diametrul semifabricatului mediu se obține din relația:

$$d_{sm} = 1{,}13\sqrt{A_{sm}} \qquad (37.16)$$

Epura secțiunilor semifabricatului mediu reprezintă diagrama având lungimea egală cu lungimea piesei matrițate și înălțimea, într-un plan oarecare, egală cu secțiunea semifabricatului mediu, reprezentată printr-o mărime liniară, la o scară aleasă arbitrar.

Deci:

$$h_{esm} = \frac{A_{sm}}{M}, \qquad (37.17)$$

unde: h_{esm} este înălțimea epurii semifabricatului mediu; M — scara aleasă.

În figura 37.9 s-au reprezentat piesa matrițată, semifabricatul teoretic precum și epura secțiunilor acestuia.

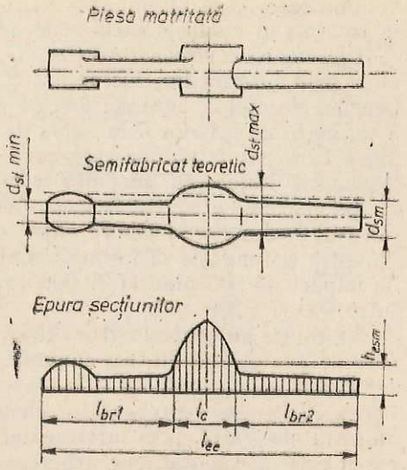


Fig. 37.9. Piesa matrițată, semifabricatul teoretic și epura secțiunilor acestuia.

2. Utilaje folosite la matrițare

După frecvența folosirii lor în secțiile de forjă, utilajele de matrițare se pot clasifica în: ciocane de matrițare, prese mecanice și mașini de forjat orizontale.

Ciocanele de matrițare pot fi cu șabotă sau fără șabotă (cu contralovitură).

Ciocanele de matrițare cu șabotă (fig. 37.10) pot fi acționate cu abur sau cu aer comprimat. Principiul lor de funcționare este similar cu cel al ciocanelor folosite la forjarea liberă. Deosebirea constructivă constă în faptul că la ciocanele de matrițare sînt prevăzute două coloane *1*, berbecul *2* are ghidaje *3* pe toată cursa, batiul *4* face corp comun cu șabota, iar cursa berbecului este mai mare.

Ciocanele de matrițare existente în prezent în producție dezvoltă o energie de impact între 10 daJ și 25 000 daJ, iar frecvența loviturilor între 60 și 80 lovituri/min. Dezavantajul principal al acestor ciocane constă în fundații

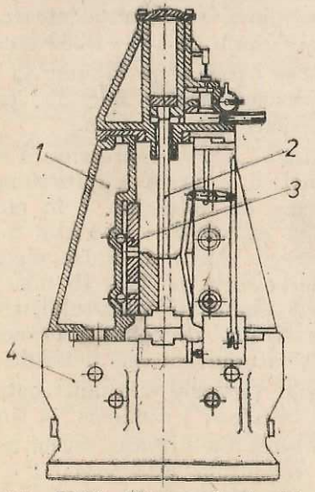


Fig. 37.10. Ciocan de matrițare cu șabotă.

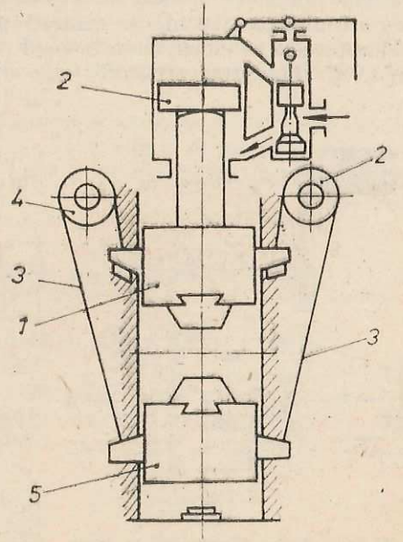


Fig. 37. 11. Ciocan cu contralovitură.

voluminoase, care diminuează în mică măsură vibrațiile puternice produse în solul și în clădirile atelierelor de matrițare.

Ciocane cu contralovitură (fig. 37.11). Berbecul superior *1* este acționat cu abur prin intermediul pistonului *2*. La coborîre, pistonul, prin intermediul benzilor de oțel *3*, care rulează pe rolele *4*, antrenează, cu o viteză egală cu a sa, berbecul inferior *5* în cursa de sens contrar, pînă la ciocnirea reciprocă. Masa berbecului inferior este ceva mai mare decît a celui superior pentru a asigura desfacerea imediată a matrițelor după efectuarea loviturii.

La ciocane cu contralovitură, fiecare berbec face o cursă mai scurtă decît în cazul ciocanelor cu șabotă, fapt ce determină ca energia cinetică absorbită de batiu și fundație să fie mult mai mică. Aceste ciocane dezvoltă o energie de impact de 500 pînă la 30 000 daJ în cazul unei curse a celor doi berbeci între 400 și 1 200 mm.

Ciocanele cu contralovitură (fără șabotă) se folosesc la matrițarea pieselor care se pot obține dintr-o singură lovitură.

Presele mecanice folosite la matrițare pot fi cu manivelă sau fricțiune. În figura 37.12 este reprezentată schema cinematică a unei prese cu manivelă. Motorul electric *1*, prin intermediul unei curele trapezoidale, transmite mișcarea roții *2*, montată pe arborele intermediar *3*, care la capătul opus are fixat pinionul *4*. Acest pinion este angrenat cu roata dințată *5* care se rotește liber pe arborele manivelei *6*. Roata *5* poate fi angrenată cu arborele manivelei *6* pe care îl pune în mișcare prin intermediul unui cuplaj *7*. Biela *8* transformă mișcarea de rotație a arborelui în mișcare alternativă a berbecului *9*. Pentru oprirea arborelui manivelei, după desfacerea cuplajului, se folosește frîna *10*.

Presele cu manivelă, numite uzual maxiprese, sînt utilaje de mare productivitate și precizie ridicată, permit mecanizarea și automatizarea operației de introducere a semifabricatului în matriță.

Presarea metalului în matrițe se realizează dintr-o singură cursă a berbecului, astfel că productivitatea maxipreselor, în comparație cu ciocanele cu abur, este mai mare cu peste 50%. Viteza de deformare a metalului pe o maxipresă este de 0,3—0,8 m/s și scade treptat la zero la sfîrșitul operației.

Maxipresele se construiesc în mod obișnuit cu forțe de presare între 5 și 100 MN (500 la 10 000 tf) cu 35—125 de curse/min și cu distanța între masa de lucru și culisou de 450—1 250 mm.

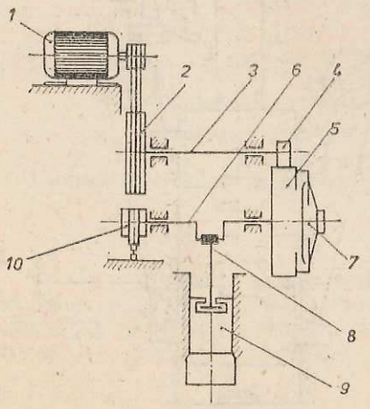


Fig. 37.12. Schema cinematică a unei maxiprese.

Presele cu fricțiune se folosesc la matrițarea pieselor relativ mici în special din aliaje neferoase.

În figura 37.13 este reprezentată schema cinematică a presei cu fricțiune cu două discuri de antrenare *1* în poziție verticală și cu un disc orizontal *2* (volant). Întrucît distanța dintre discurile de antrenare este cu 10—15 mm mai mare decît diametrul volantului, acesta nu poate fi pus în contact în același timp decît cu unul din cele două discuri.

Discurile verticale sînt antrenate de un motor electric, rotindu-se tot timpul în același sens. Ca urmare, sensul de rotație al volantului este variabil și depinde de discul vertical cu care este în contact, iar șurubul și culisorul coboară sau urcă.

Presele cu fricțiune transformă energia cinetică a ansamblului mobil în lucru mecanic de deformare.

Presele cu fricțiune au o energie de impact între 1 250 și 8 000 daJ, 11—25 lovituri/min, iar viteza de impact este de 0,5—1,5 m/s.

Mașinile orizontale de forjat sînt destinate să efectueze următoarele operații: refulare închisă, perforare, debitare etc.

În figura 37.14 este reprezentată schema cinematică a mașinii orizontale de forjat. Prin intermediul roții dințate *1* se transmite mișcarea de rotație arborelui cotit *2*. Mișcarea de rotație a arborelui este transformată prin intermediul bielei *3* în mișcare de translație pentru culisorul principal *4* și cu ajutorul unui sistem de pîrghii *5* pentru culisorul lateral *6*. În acest fel semimatrița mobilă, montată pe culisorul *6* se deplasează spre semimatrița fixă *7*, fapt ce permite strîngerea semifabricatului în poziția stabilă.

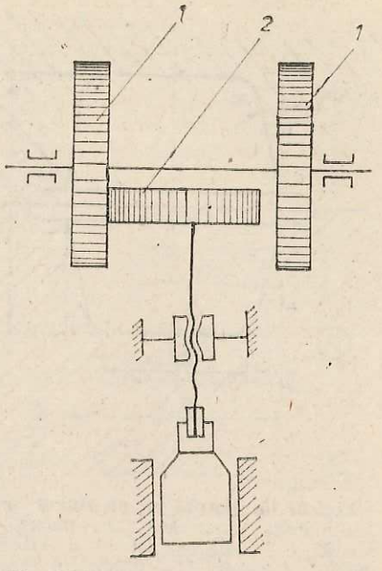


Fig. 37.13. Schema unei prese cu fricțiune.

Paralel cu deplasarea semimatriței mobile către cea fixă are loc și cursa culisorului principal, în sensul înaintării, adică spre stînga. Acțiunea poansonului, fixat în culisorul principal, asupra materialului are loc după ce semifabricatul a fost blocat între semimatrițe.

Parti cularitatea principală a mașinilor orizontale de forjat constă în faptul că matrițele folosite au două plane de separație, perpendiculare unul pe altul, primul între semimatrițe și al doilea între semimatrițe și poanson.

Acest lucru permite obținerea unor piese cu forme complicate și cu precizie ridicată.

Mașinile orizontale de forjat se construiesc cu forțe de deformare la culisorul principal de 0,5 pînă la 30 MN, iar la culisorul secundar de 0,4 pînă la 0,6 MN. Numărul de curse pe minut poate fi între 25 și 95, cursa semimatriței mobile între 60 și 350 mm.

3. Scule pentru matrițare

Cele mai importante scule folosite la matrițare sînt matrițele. Acestea se pot clasifica, în funcție de utilajul și mașinile la care sînt folosite, în: matrițe pentru ciocane, matrițe pentru prese și matrițe pentru mașini orizontale de forjat.

În timpul lucrului, datorită forțelor mari și a temperaturii înalte, matrițele sînt supuse la solicitări importante. De aceea, oțelurile folosite pentru executarea

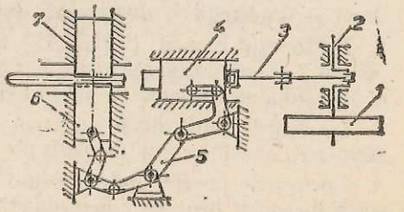


Fig. 37.14. Schema cinematică a mașinii orizontale de forjat.

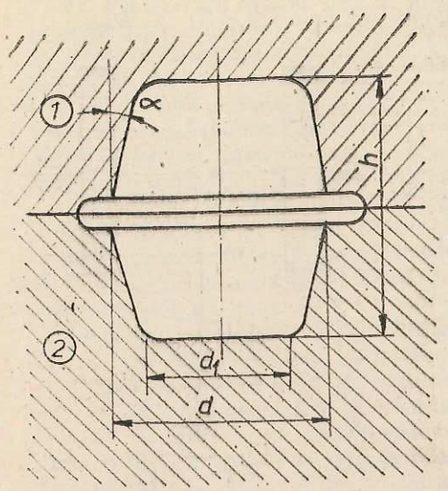


Fig. 37.15. Matriță cu un singur locaș:
1 — matriță superioară; *2* — matriță inferioară; *h* — înălțimea piesei; *d* — diametrul maxim al piesei; d_1 — diametrul semifabricatului; α — unghiul de înclinare a pereților matriței.

lor trebuie să aibă rezistență la uzare, conductibilitate termică bună și să-și mențină aceste proprietăți la temperaturile de lucru.

Pentru executarea matrițelor se folosesc frecvent oțeluri Cr-Ni-Mo sau alte oțeluri mai puțin scumpe.

Durata de funcționare a matriței depinde de natura materialului, de configurația cavităților, de calitatea lubrifianților, de greutatea ciocanului și de condițiile de exploatare.

Prelungirea duratei unei matrițe se realizează prin controlul riguros al temperaturii de matrițare, preîncălzirea matriței înainte de lucru, lubrifierea adecvată, îndepărtarea oxizilor și îmbunătățirea proiectării.

1) *Matrițe pentru ciocane.* Datorită specificului solicitărilor, matrițele pentru ciocane sînt de construcție masivă, putînd fi cu un singur locaș sau cu locașuri multiple.

Matrițele cu un singur locaș (fig. 37.15). Locașul care se execută la acest tip de matrițe constituie locașul de finisare în care se obțin piesele matrițate direct la forma și dimensiunile finale.

Matrițele cu locașuri multiple permit efectuarea, pe aceeași matriță și din aceeași încălzire, a unor operații premergătoare matrițării.

Elementele constructive ale matriței cu locașuri multiple sînt reprezentate în figura 37.16. Pe suprafața matriței sînt executate următoarele locașuri: de întindere *1*, de rulare *2*, de îndoire *3*, preliminar *4*, de finisare *5*, de bavură *6*. Alte elemente ale matriței sînt: găurile de prindere *7*, coada de rîndunică *8*, fețele de control ale blocurilor *9*. Unele matrițe sînt prevăzute și cu coloane de ghidare.

Locașul de finisare *5* este replica exactă a piesei matrițate, însă dimensiunile lui sînt majorate cu valoarea coeficientului de contracție a metalului prelucrat, care la oțeluri este între 0,8 și 1,2%.

Locașul de bavură *6* are drept scop preluarea surplusului de material provenit din toleranțele de laminare ale semifabricatului și din abaterile de la debitare. Bavura formată preia o parte din impactul de la închiderea celor două semimatrițe și determină umplerea corectă a locașului de finisare.

La locașul bavurii (fig. 37.17) se deosebesc două elemente constructive: pragul *1* și canalul propriu-zis *2*. Locașul bavurii înconjură întregul perimetru al locașului de finisare în planul de separație.

Locașurile multiple se clasifică, după rolul lor, în trei grupe: *locașuri pregătitoare*, *ajutătoare* și *de finisare*.

Locașurile pregătitoare servesc la repartizarea volumului de material din semifabricatul brut în concordanță cu profilul piesei matrițate. Din această grupă fac parte următoarele locașuri: de gîtuire, rulare, întindere, îndoire, refulare și retezare.

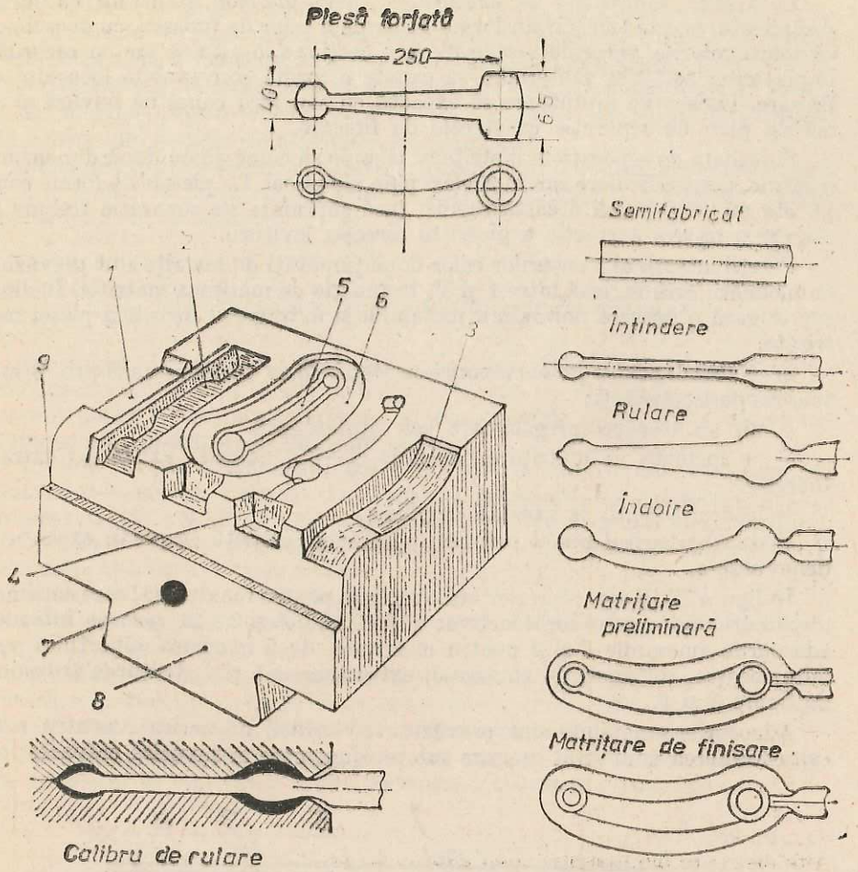


Fig. 37.16. Matriță cu locașuri multiple.

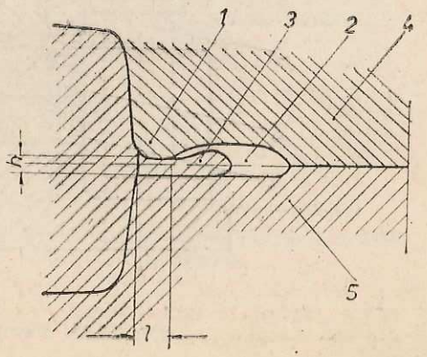


Fig. 37.17. Locaș de bavură:
1 — prag; *2* — canalul propriu-zis; *3* — bavură; *4* — matriță superioară; *5* — matriță inferioară; *h*, *l* — înălțimea și respectiv lungimea pragului.

Locașurile ajutătoare se execută în cazul pieselor matrițate cu forme complicate; aceste locașuri au forma generală a celor de finisare, cu deosebirea că toate golurile, trecerile bruște de la o secțiune la alta se fac cu racordări importante, astfel ca materialul să capete o formă convenabilă locașului de finisare. Locașurile ajutătoare se execută cu sau fără canal de bavură și cu același plan de separație ca și cele de finisare.

Suprafața de separație a matrițelor trebuie să coincidă cu două dimensiuni maxime, perpendiculare sau în același plan ale piesei. La piesele de forme complicate nu se respectă această regulă, însă suprafața de separație trebuie să asigure o ușoară extracție a piesei în direcția loviturii.

Pereții laterali ai locașurilor celor două jumătăți de matrițe sînt prevăzute cu înclinări, care variază între 1 și 5°, în funcție de mărimea matriței. Înclinările asigură o curgere normală a metalului și extragerea ușoară a piesei matrițate.

2) *Matrițele pentru prese mecanice cu manivelă* se caracterizează prin următoarele particularități:

— nu au locașuri pregătitoare sau ajutătoare;

— au înclinări de matrițare mai mici (1—3°), datorită existenței extractoarelor;

— locașul bavurii se execută deschis;

— dacă gabaritul piesei permite, pe aceeași matriță se poate executa și debavurarea.

În figura 37.18 este reprezentată o matriță pentru maxipresă, care cuprinde următoarele elemente constructive: suporturile *1* și *2*, în care se introduc adaosurile amovibile *3* și *4* pentru matrițare, dacă mărimea suportului permite aceasta, coloanele de ghidare *5*, extractoarele *6* și *7*, bolțurile și bridele de fixare *8* și *9*.

Adaosurile amovibile sînt prevăzute cu orificii de aerisire, pentru a se evita formarea unui strat de gaze sub presiune care ar favoriza crăparea lor.

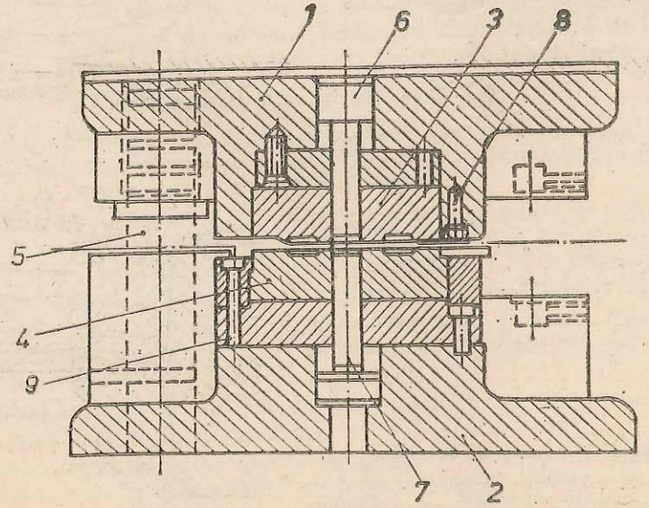


Fig. 37.18. Matriță pentru maxipresă.

La presele cu manivelă, în afară matrițelor pentru matrițarea propriu-zisă, se mai folosesc și matrițe pentru tăierea bavurii la cald sau la rece (debavurarea). Matrițele de debavurare se execută pentru tăierea bavurii de exterior a piesei sau a celei de interior, la piesele cu orificii obținute direct din matrițare. Uneori debavurarea exterioară și interioară se execută simultan (fig. 37.19).

3) *Matrițele pentru mașini orizontale de forjat* sînt constituite în principal din poansoane și două semimatrițe de strîngere.

În figura 37.20 este reprezentată schematic o matriță la care deformarea are loc numai în poansonul *1* prin trei treceri succesive, matrițele *2* avînd numai rolul de strîngere.

4. Întocmirea procesului tehnologic de matrițare

Indiferent de utilajul folosit, la proiectarea tehnologiei de matrițare se ține seama de desenul piesei matrițate. Acesta se întocmește în raport de desenul piesei finite, întrucît forma și dimensiunile piesei finite determină tehnologia de matrițare și utilajul respectiv.

Pe desenul piesei matrițate sînt prevăzute: adaosurile de prelucrare, înclinările de matrițare, razele de racordare, adaosurile tehnologice și planul de separație (STAS 1299-79, condiții generale pentru piese din oțel matrițate).

La piesele care se prelucrează prin așchiere se prevede, pe suprafețele de prelucrat, un adaos de material care să asigure realizarea prin așchiere forma și dimensiunile piesei cerute în funcționare.

În țara noastră, adaosurile de prelucrare și abaterile limită sînt standardizate (STAS 7670-66).

Înclinările de matrițare asigură umplerea locașului matriței, reducerea solicitărilor matriței și extragerea ușoară a piesei din matriță. Valorile înclinărilor de matrițare sînt prevăzute în standardul menționat mai sus.

Piesele matrițate sînt prevăzute cu raze de racordare pentru a ușura curgerea metalului în matriță și a înlătura pericolul formării fisurilor.

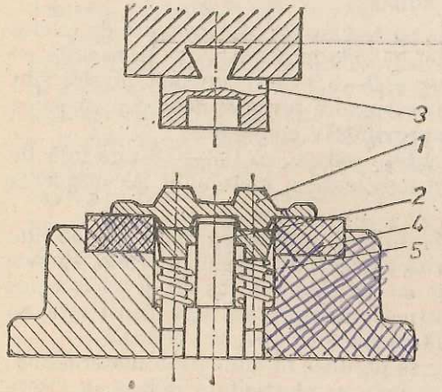


Fig. 37.19. Matriță pentru debavurare: *1* — piesa matrițată cu bavură; *2* — poanson de perforare; *3* — poanson de debavurare; *4* — matriță; *5* — arc.

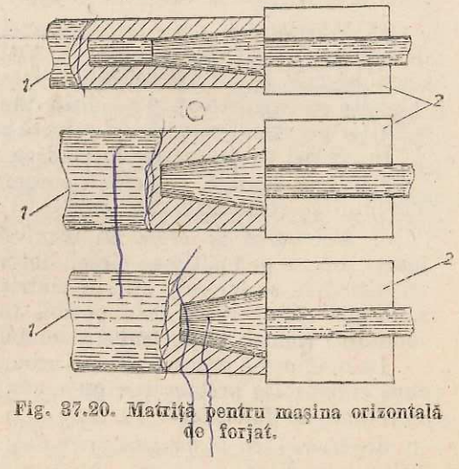


Fig. 37.20. Matriță pentru mașina orizontală de forjat.

Pentru asigurarea execuției piesei matrițate la dimensiunile din desen se prevăd o serie de adaosuri tehnologice, cum sînt: bavura, adaosul pentru capul de cleşte şi adaosul pentru ardere.

Prin urmare, masa semifabricatului M_{sf} se va calcula cu relația:

$$M_{sf} = M_p + M_b + M_a + M_c, \qquad (37.18)$$

în care:

M_p este masa piesei matrițate;
M_b — masa bavurii;
M_a — pierderi de metal prin ardere;
M_c — pierderi de metal prin capul de cleşte.

Pentru a se evita pierderile de metal prin bavură, care reprezintă circa 20% din masa piesei matrițate, se aplică matrițarea fără bavură (închisă). Procedeul se caracterizează prin faptul că în zona de contact a semimatrițelor se prevede un inel de metal destinat să oprească curgerea metalului în afara conturului piesei.

În acest fel se elimină locaşul bavurii şi operația de debavurare, iar piesa matrițată are forme şi dimensiuni mai apropiate de piesa finită.

Planul de separație defineşte părțile din piesă cuprinsă în matrița inferioară şi cea superioară. Poziția planului de separație este determinată de configurația piesei şi de fibrajul necesar a fi obținut în piesa matrițată.

5. Tehnologii de matrițare

a) *Matrițarea la ciocane* se aplică la producția în serie la piese care au masa între 0,1 kg şi 1 000 kg. Materialul inițial este constituit din bare laminate şi din profile periodice în cazul producției în serie mare. De asemenea, se folosesc şi semifabricate obținute prin forjare liberă pentru piese de dimensiuni mai mari.

Matrițarea la ciocane se caracterizează prin faptul că poate fi aplicată unei game largi de piese cu configurații complexe, cu schimbări mari ale secțiunilor şi cu nervuri care se obțin în locaşuri adînci.

b) *Matrițarea la prese* prezintă unele particularități determinate de modul de funcționare a utilajului folosit. Astfel, piesele matrițate sînt proiectate cu unghiuri mici (2—3°) şi toleranțe strînse (0,2—0,5 mm), întrucît presele sînt echipate cu extractoare şi se obțin dintr-o singură presare, deoarece apăsarea matriței pe metal se face cu o forță aproximativ constantă.

În acelaşi timp, presele lucrînd cu viteze reduse, cu 0,3—0,8 m/s față de 7—8 m/s la ciocane, asigură o curgere mai lentă a metalului, iar umplerea locaşului se realizează mai încet.

c) *Matrițarea la prese cu manivelă* asigură obținerea unor dimensiuni foarte precise pe înălțimea piesei, datorită cursei fixe şi rigide a presei. Presele cu manivelă se folosesc atît la matrițe cu un singur locaş cît şi cu locaşuri multiple. Acest lucru este posibil întrucît maxipresele sînt construite cu montanți robuşti şi cu traversă mobilă ghidată cu precizia ridicată.

La maxiprese procesul de deformare se produce în adîncimea materialului, fapt ce permite prelucrarea unor aliaje care au plasticitate redusă la viteze mai mari de deformare.

d) *Matrițarea la presele hidraulice* se aplică în general pieselor mari, de formă complicată şi cu mai multe plane de separație. Astfel, în industria de avioane şi de automobile se matrițează ansambluri mari, care altfel se pot obține din foarte multe repere.

Matrițarea pieselor se realizează, ca şi la prese mecanice, dintr-o singură presare, folosindu-se semimatrițe monobloc în cazul pieselor mari şi matrițe din mai multe bucăți pentru piese mijlocii.

Datorită vitezei reduse a traversei mobile (0,15—0,20 m/s) matrițarea la presele hidraulice se aplică oțelurilor şi aliajelor cu plasticitate redusă care nu suportă viteze mari de deformație.

Dacă presa este dotată cu cilindri verticali şi orizontali, atunci matrițarea pieselor se realizează prin deformare din două sau mai multe direcții (fig. 37.21).

Totodată, fiind un procedeu mai scump decît la ciocane sau pe alte tipuri de prese, matrițarea la prese hidraulice se aplică numai în cazul pieselor mari pentru care puterea ciocanelor şi a preselor mecanice este insuficientă sau spațiul de lucru este prea mic.

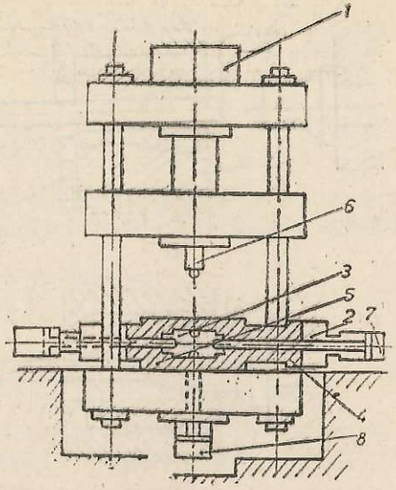


Fig. 37.21. Matrițarea cu prese hidraulice: *1* — cilindru principal; *2* — cilindri orizontali dubli; *3* — piesa matrițată; *4*, *5* — sculele pentru matrițare; *6* — poansonul pentru găurire verticală; *7* — pistoane prevăzute cu dornuri pentru găurirea orizontală; *8* — extractor.

2) *Matrițarea la mașinile orizontale de forjat* se caracterizează prin faptul că fiecare treaptă de deformare corespunde unei lovituri în alt locaş de matriță. Acest lucru impune dimensionarea şi execuția foarte corectă a fiecărui locaş.

La mașinile orizontale de forjat se pot executa în condițiile cele mai bune piesele care necesită operațiile de refulare, dar se pot executa şi îndoiri, găuriri, debitări, precum şi alte operații.

Fazele de matrițare la mașina orizontală de forjat sînt reprezentate în figura 37.22. Capătul încălzit al barei *1* se aşază în matrița fixă *2* montată în suportul *3*. Lungimea barei este limitată de opritorul *4*. Cînd mecanismul de acționare intră în funcțiune, sînt puse în mişcare suportul mobil *5* cu matrița *6* şi poansonul *7*. Matrițele blochează bara, iar opritorul se retrage automat. La început, poansonul *7* refulează capătul barei (fig. 37.22, *a* şi *b*), apoi umple cavitatea matriței cu metalul de format (fig. 37.22, *c*). În continuare poansonul *7* se retrage, matrițele *2* şi *6* se despart şi semifabricatul este transferat în locaşul următor (fig. 37.22, *d*).

6. Operații ulterioare matrițării

a) *Debavurarea pieselor matrițate* se execută la cald şi la rece. Debavurarea la cald se efectuează imediat după matrițare cînd piesa are o temperatură de 700—800°C, fiind aplicată oțelurilor care prezintă pericol de fisurare dacă operația s-ar efectua la rece. În cazul debavurării la cald, utilajul destinat

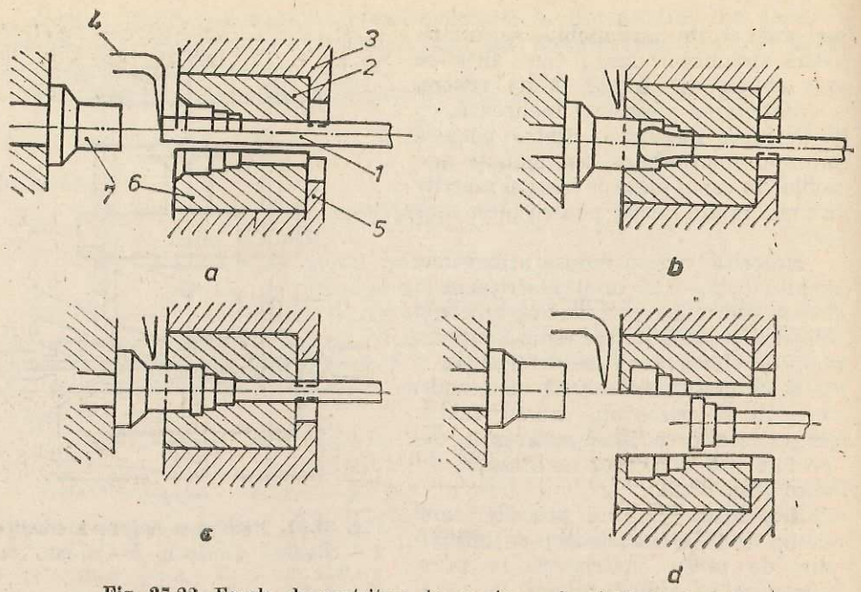


Fig. 37.22. Fazele de matriţare la maşina orizontală de forjat:
a — introducerea semifabricatului (barei); *b* — strîngerea semifabricatului în matriţă şi începerea deformării; *c* — terminarea deformării; *d* — revenirea la poziţia iniţială.

efectuării operaţiei se amplasează în imediata apropiere a ciocanului sau a piesei de matriţare, avînd productivitatea egală cu a acestora.

Debavurarea la rece se aplică la piese mici matriţate din oţel carbon cu conţinutul de carbon mai mic de 0,5—0,6%. Uneori debavurarea la rece se execută după tratamentul termic de recoacere sau de normalizare, cînd rezistenţa la rupere a materialului scade şi uzarea sculelor este mai redusă.

b) *Calibrarea* este operaţia prin care se asigură dimensiuni precise şi o calitate înaltă a suprafeţei piesei matriţate, fiind aplicată după debavurare şi curăţirea piesei.

Calibrarea se poate executa la rece în cazul pieselor mici şi la cald la piese mai mari, cînd precizia dimensională este mai mică.

c) *Curăţirea pieselor matriţate de oxizi* se face după debavurare şi tratamentul termic primar, fiind efectuată prin sablare, în tobe sau prin decapare.

Curăţirea prin sablare se aplică pieselor cu masa sub 6 kg în camere închise sub un jet de nisip, care este proiectat cu ajutorul aerului comprimat la 5—6 bar. În unele cazuri, în locul nisipului se foloseşte un jet de alice din fontă sau oţel cu diametrul de 0,8—2,5 mm care se proiectează cu o viteză de 40—60 m/s. În acest caz piesele sînt deplasate continuu prin intermediul unui transportor.

Curăţirea în tobe se aplică, de asemenea, pieselor mici. În timpul rotirii tobei, piesele se rostogolesc unele peste altele, curăţîndu-se de oxizi prin loviri repetate. Pentru intensificarea curăţirii pe tobe se încarcă şi bucăţi mici din oţel de formă sferică sau poliedrică.

Pentru curăţirea prin decapare se folosesc, în cazul pieselor din oţeluri, soluţii apoase de acid sulfuric în concentraţie de 20% acid la temperatura de 55°C sau soluţii de acid clorhidric cu concentraţie de 15%, încălzită la 30°C, sau amestecul acestor două soluţii la care se adaugă şi acid azotic.

După decapare, piesele se spală bine în apă caldă, după care se neutralizează în soluţie de 50—70 g KOH sau NaOH la un litru de apă, apoi din nou se spală cu apă caldă şi se usucă.

7. Forma tehnologică a pieselor matriţate

La stabilirea tehnologiei de matriţare la cald trebuie să fie realizată o formă a piesei cît mai simplă, în concordanţă cu procedeul de execuţie aplicat, pentru a se obţine:

— reducerea consumului de metal şi de energie;
— reducerea volumului de muncă;
— cost scăzut.

Pentru realizarea acestor obiective se va urmări ca:

— Secţiunile transversale ale materialului iniţial să aibă, pe cît posibil, o formă care să dea înclinări de matriţare naturale (fig. 37.23).

— Separarea piesei în cele două semimatriţe să se facă după o linie dreaptă, asigurîndu-se astfel precizia ridicată a piesei matriţate, creşterea duratei în exploatare a matriţei şi reducerea costului.

În figura 37.24, *a*, linia de separaţie este dreaptă, ceea ce reduce costul matriţei, însă, în acelaşi timp, creşte costul prelucrării prin aşchiere. În cazul liniei de separaţie frîntă (fig. 37.24, *b*) creşte costul matriţei, datorită complicării sale, în schimb se reduce volumul de muncă prin aşchiere.

— Pentru a se asigura forma şi dimensiunile piesei matriţate este necesar ca piesa să aibă o rigiditate suficientă la debavurare, astfel încît să se excludă posibilitatea deformării ei în cursul acestei operaţii. În figura 37.25, *a* este reprezentată o formă nesimetrică a piesei (greşită) şi în figura 37.25, *b* o formă simetrică (corectă).

— Se vor evita piese cu secţiuni foarte variate (fig. 37.26, *a* şi *b*), fapt ce împiedică repartiţia uniformă a metalului în timpul matriţării, astfel că pot să apară dificultăţi la umplerea completă a locaşului matriţei.

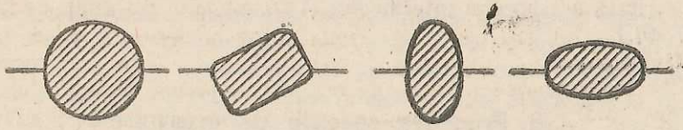


Fig. 37.23. Formele unor piese matriţate care necesită înclinări de matriţare.

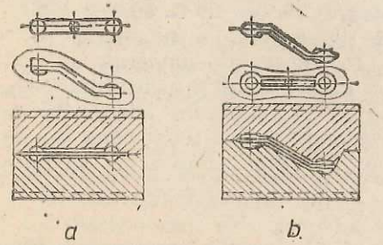


Fig. 37.24. Două variante de matriţare a unei pîrghii încovoiate:
a — cu linia de separaţie dreaptă; *b* — cu linia de separaţie frîntă.

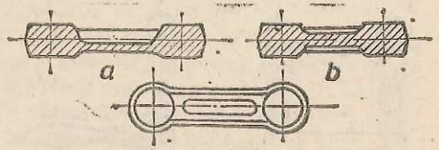


Fig. 37.25. Liniile de separaţie ale pieselor matriţate:
a — separarea nesimetrică (greşită); *b* — separarea simetrică (corectă).

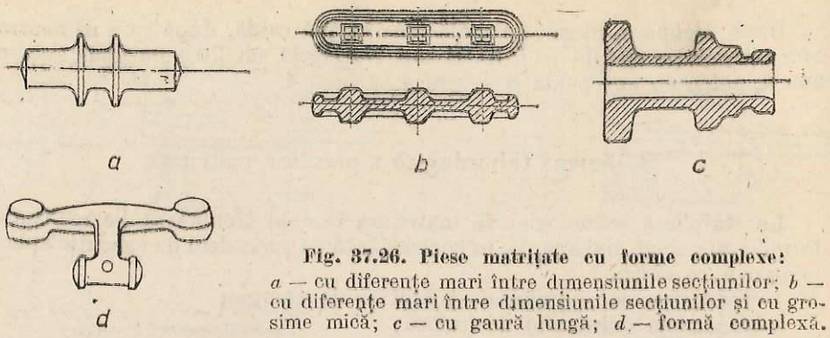


Fig. 37.26. Piese matrițate cu forme complexe:
a — cu diferențe mari între dimensiunile secțiunilor; *b* — cu diferențe mari între dimensiunile secțiunilor și cu grosime mică; *c* — cu gaură lungă; *d* — formă complexă.

Se vor evita cavități adînci și găuri lungi (fig. 37.26 *c*), cînd durabilitatea poansoanelor este redusă.

— Se vor evita piese cu forme complexe (nervuri, ieșinduri înalte) (fig. 37.26, *d*), întrucît acestea necesită la matrițare un număr mai mare de lovituri, iar uneori și o încălzire suplimentară fapt ce duce la o productivitate scăzută.

Pentru realizarea unei producții cu o economicitate maximă, se impun unele modificări ale formei piesei matrițate și anume:

a) *Piesele cu forme complicate* se împart în mai multe părți care apoi se îmbină prin sudare (fig. 37.27) sau, dimpotrivă, dintr-un semifabricat matrițat, cu o singură bucată să se obțină la prelucrare două sau mai multe piese. De exemplu, matrițarea bielei împreună cu capacul său, apoi separarea lor prin tăiere (fig. 37.28).

b) *Pentru mărirea siguranței în funcționare*, în unele cazuri, este indicat să se micșoreze numărul de piese conjugate, fapt ce conduce la o formă mai complicată a piesei matrițate. În această situație crește costul de execuție a piesei matrițate, totuși se obține o micșorare suplimentară a costului piesei finite. Un exemplu concludent în acest sens îl constituie reunirea într-o singură piesă matrițată a arborelui intermediar și a capacului rotorului de la turbină (fig. 37.29).

8. Procedee speciale de matrițare

a. **Matrițarea de precizie.** La matrițarea de precizie se urmărește realizarea unui grad avansat de apropiere a piesei matrițate de cea finită cum și a abaterilor dimensiunilor piesei matrițate față de dimensiunile ei nominale.

În construcția modernă de mașini există tendința constantă de a reduce la minimum adaosurile de prelucrare și cele tehnologice sau de a le înlătura complet pe anumite

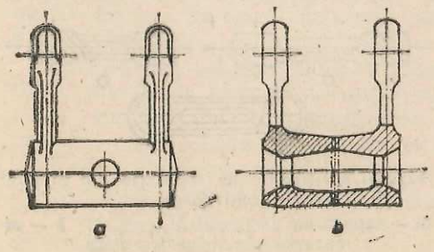


Fig. 37.27. Împărțirea unei piese în două în vederea matrițării:
a — piesa dintr-o bucată; *b* — piesa sudată din două bucăți matrițate.

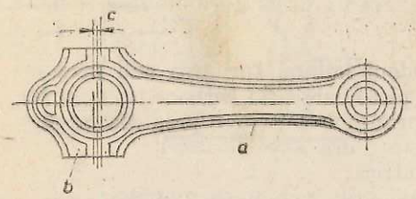


Fig. 37.28. Matrițarea a două piese împreună:
a — corpul bielei; *b* — capacul bielei; *c* — adaos pentru tăiere.

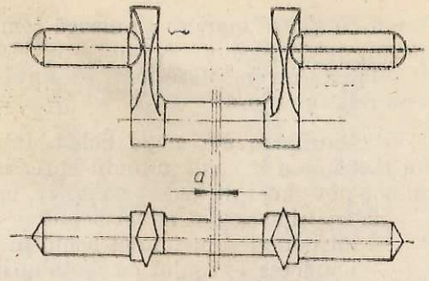


Fig. 37.29. Reunirea a două piese într-una singură pentru matrițare.

porțiuni ale pieselor matrițate astfel încît să li se asigure o precizie cît mai ridicată. În acest fel, se obține o folosire mai rațională a materialului și o degrevare a secțiilor de prelucrare prin așchiere de operațiile de degroșare, rămînînd să fie executate numai operațiile de finisare.

Adaosul de prelucrare depinde de mai mulți factori, dintre care se menționează: adîncimea defectelor superficiale provenite de la semifabricatul inițial, adîncimea stratului degradat de imprimare a oxizilor, adîncimea stratului decarburat și altele.

Pentru a reduce adaosul de prelucrare se impune diminuarea sau înlăturarea completă a acestor defecte.

Abaterile de la dimensiunile nominale ale piesei matrițate influențează direct adaosul de prelucrare; de aceea, trebuie să se asigure o precizie de matrițare cît mai ridicată.

Adaosurile tehnologice sînt influențate de forma și mărimea piesei, de procedeul de matrițare aplicat cît și de mașina folosită. Pentru fiecare piesă se poate proiecta o tehnologie optimă și cu adaosuri tehnologice minime.

Mărimea adaosurilor tehnologice (înclinațiile de matrițare, razele de racordare, trecerile de la o secțiune la alta etc.) poate fi redusă prin realizarea matrițării pe prese mecanice cu manivelă sau pe mașină orizontală de forjat.

În ceea ce privește precizia dimensiunilor pieselor matrițate în raport de dimensiunile lor nominale, aceasta este determinată de uzarea matrițelor, de închiderea incompletă a matrițelor, de deplasarea matrițelor în ele etc.

În consecință se impune înlăturarea acestor abateri pentru a se realiza piesele matrițate la dimensiunile lor nominale.

b. **Matrițarea cu viteze mari.** Acest procedeu de deformare se execută pe ciocane rapide, fiind aplicat în producția de piese complexe, din oțeluri obișnuite sau din aliaje dure și refractare.

Matrițarea cu viteze mari prezintă o serie de avantaje, și anume: piese de formă complexă se obține dintr-o singură lovitură, metalul curge cu viteze foarte mari în spații înguste, fapt ce permite umplerea corectă a locașului, se elimină unele prelucrări prin așchiere datorită toleranțelor strînse (0,025—0,125 mm), piesele sînt omogene din punct de vedere structural și al proprietăților mecanice.

Ținînd seama de faptul că la temperaturi ridicate deformabilitatea metalelor, de obicei, scade cu creșterea vitezei de deformare, se impune ca la matri-

țarea cu viteze mari să se aleagă temperaturi de lucru mai scăzute decît la matrițarea clasică.

Matrițarea cu viteze mari prezintă dezavantajul că durabilitatea sculelor este relativ redusă.

c. **Matrițarea din metal lichid.** Procedeul îmbină turnarea sub presiune cu matrițarea la cald, putîndu-se realiza piese care prin turnare nu ar corespunde din punct de vedere calitativ, iar prin matrițare ar fi prea costisitoare.

La matrițarea din metal lichid se disting următoarele faze:

— introducerea metalului lichid în matriță;

— umplerea locașului cu metalul lichid prin închiderea matriței;

— cristalizarea metalului sub presiune;

— matrițarea semifabricatului după solidificarea lui.

Matrițarea din metal lichid prezintă unele particularități specifice în comparație cu matrițarea obișnuită sau turnarea sub presiune, și anume:

— Introducerea metalului lichid se face direct în matriță deschisă, în timp ce la turnare sub presiune, alimentarea se face printr-o cameră separată.

— În etapa a doua a martițării metalului lichid, pierderile de căldură sînt mai mici fapt ce creează condiții mai bune de umplere în comparație cu turnarea sub presiune, putîndu-se astfel lucra cu temperaturi mai scăzute ale metalului lichid.

— Cristalizarea metalului se produce în condiții mai bune întrucît întregul volum de metal se găsește sub presiune tot timpul. Acest lucru favorizează formarea centrelor de cristalizare și deci obținerea unor piese cu structura mult mai fină decît în cazul pieselor turnate sub presiune.

— Energia necesară pentru obținerea pieselor prin matrițare din metalul lichid este mică, întrucît formarea piesei se face în stare lichidă și numai în ultima etapă cînd piesa este deformată plastic este nevoie de o forță mai mare.

Factorii care influențează calitatea pieselor matrițate prin acest procedeu sînt:

— presiunea folosită la matrițarea din metal lichid, care poate fi de 600—1 600 bar, funcție de dimensiunea piesei;

— temperatura metalului lichid, care este de 580—720°C la obținerea pieselor din silumin și de 850—1000°C pentru piese din alamă;

— temperatura matriței, care trebuie să fie de 200—250° pentru aliaje de aluminiu și de 250—300°C pentru aliaje de cupru și 300—330°C pentru piese din oțel;

— durata menținerii metalului în matriță trebuie să fie sub 2—3 s;

— viteza de închidere a matrițelor trebuie să fie de 0,2—0,3 m/s în cazul pieselor mici și de 0,1 m/s pentru matrițarea pieselor mai mari.

Limitarea aplicării procedeului în practica industrială este determinată de unele dificultăți ce apar în timpul matrițării din metal lichid legate de: dozarea metalului lichid în matriță, apariția fisurilor în piese în etapa deformării plastice și prinderea materialului de matriță.

În figura 37.30 este reprezentată o matriță prevăzută cu canal de bavură radial (fig. 37.30, *a*) sau axial (fig. 37.30, *b*) pentru colectarea excesului de material. În figura 37.30, *b* se arată o matriță pentru obținerea unei piese cu guler în partea superioară. În figura 37.31, *a* este o construcție greșită a matriței întrucît prin compactizarea metalului în zonele *1* și *3* rezultă eforturi de întindere în zona *2*, fapt ce provoacă fisurarea metalului. Pentru evitarea acestor fisuri, metalul trebuie să fie presat de jos în sus așa cum se arată în figura 37.31, *b*.

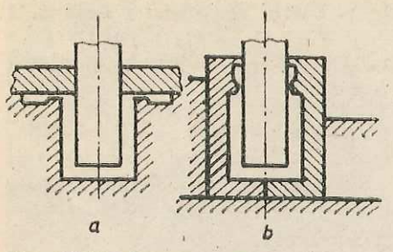


Fig. 37.30. Matriță pentru piese în formă de pahar:
a — cu canal de bavură radial; *b* — cu canal de bavură axial.

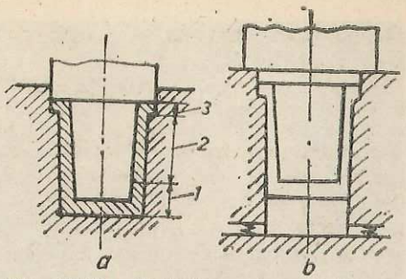


Fig. 37.31. Matriță pentru picior cu guler:
a — construcția greșită; *b* — construcția corectă.

Matrițarea lichidă se aplică la obținerea pieselor mari cu pereți subțiri.

d. **Matrițarea materialelor superplastice.** Superplasticitatea este denumirea dată unor aliaje cu structura granulară fină și stabilă, care la încercarea de tracțiune capătă grade de deformare foarte mari fără a se rupe. Fenomenul se observă la viteze de deformație cuprinse între 10^{-5} și 10^{-1} s^{-1} și la temperaturi de 0,5 T_t (T_t constituie punctul de topire, în K). La temperaturi inferioare temperaturii de deformare superplastică sau la viteze mari de deformare, superplasticitatea se anulează și materialul se comportă ca un aliaj obișnuit.

În prezent se cunoaște un număr însemnat de aliaje superplastice dar cel mai mult au fost experimentate aliajele eutectice și eutectoide. Aliajele eutectice ale staniului sînt superplastice la temperatura camerei, iar eutectoidul zinc-aluminiu (78% Zn + 22% Al) la 250°C, dar în anumite condiții poate fi superplastic și la temperatura obișnuită.

De asemenea, s-au obținut în stare de superplasticitate oțeluri aliate cu nichel și cu crom, aliajele titanului, aluminiului, zirconiului și cuprului.

La materiale metalice superplastice efectul ecruisării este neglijabil, iar limita de curgere este extrem de redusă, de circa 10% din limita de curgere a aceluiași aliaj în stare obișnuită.

Experimentările efectuate pe un aliaj superplastic Bi-Sn au permis obținerea unei alungiri totale de aproape 2 000%, iar tuburile din aliaje Zn-Pb au fost lărgite în diametru cu pînă la 750%.

Matrițarea materialelor superplastice prezintă avantajul că se pot obține piese cu un consum de energie mult mai mic în comparație cu matrița obișnuită și o umplere foarte bună a locașurilor matriței cu toate detaliile ei constructive.

În figura 37.32, *a* se arată o duliе obținută prin matrițare dintr-un aliaj superplastic Zn-Al, folosind ca material inițial tablă subțire, iar în figura 37.32, *b* o roată dințată matrițată.

e. **Matrițarea prin electrorefulare.** Pentru matrițarea la producție în serie sau în masă a unor piese, cum sînt: supapele, buloanele etc. s-a introdus procedeul electrorefulării. Prin acest procedeu se asigură fibrajul continuu al pieselor, se reduc la minimum adaosurile de prelucrare mecanică, se evită supraîncălzirea materialului, în condiții de înaltă productivitate.

Prin electrorefulare se pot obține atît piese intermediare, care se supun unei matrițări finale, cum este cazul electrorefulării libere, cît și piese cu forme finale, în cazul electrorefulării în matriță.

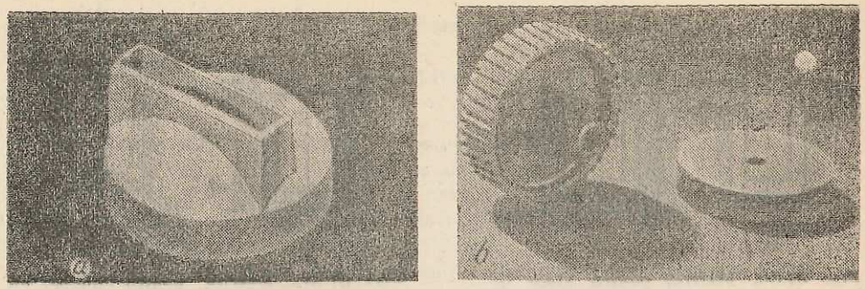


Fig. 37.32. Piese matrițate dintr-un aliaj superplastic Zn-Al:
a — dulie; *b* — roată dințată.

Materialul inițial este constituit din bare rotunde cu un adaos de prelucrare pe rază de 0,1—0,2 mm, suficient pentru rectificarea după electrorefulare.

În cazul electrorefulării libere, semifabricatul refulat (fig. 37.33) se trece imediat la presa cu fricțiune, unde se realizează matrițarea definitivă, dintr-o singură lovitură obținîndu-se piese cu mare precizie dimensională.

O linie tehnologică alcătuită dintr-o mașină de electrorefulat și o presă cu fricțiune, deservite de un singur operator, poate produce 300—450 supape pe oră. Consumul de energie electrică la electrorefulare este de 0,4—0,5 kWh/kg de supape.

Principiul de lucru la mașinile de electrorefulat în matriță este reprezentat în figura 37.34, la care se disting trei faze succesive. În prima fază (fig. 37.34, *a*) se produce încălzirea barei în porțiunea dintre electrodul de sprijin și matriță prevăzută cu un fund mobil. În etapa a doua și a treia, metalul încălzit umple cavitatea matriței prin retragerea progresivă a fundului mobil al matriței (fig. 37. 34, *b* și *c*).

Procedeul permite obținerea pieselor dintr-o singură operație, însă răspîndirea lui este limitată, datorită unor dificultăți în realizarea preciziei matriței.

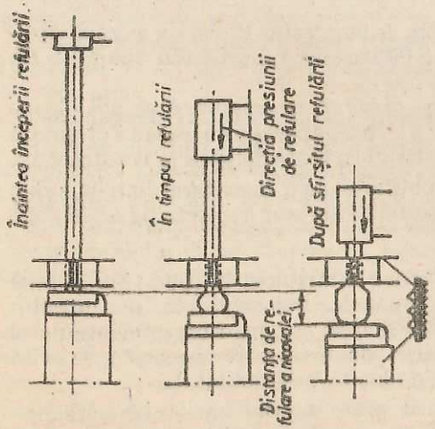


Fig. 37.33. Schema electrorefulării libere.

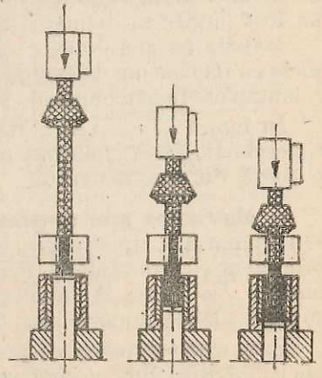


Fig. 37.34. Schema electrorefulării în matriță.

f. **Matrițarea prin rotație.** Matrițarea prin rotație constă în deformarea metalului prin întindere cu ajutorul unor scule (ciocane) care acționează simultan pe două sau pe patru direcții, diametral opuse, asupra semifabricatului, imprimîndu-i acestuia o mișcare de rotație și de avans (fig. 37.35).

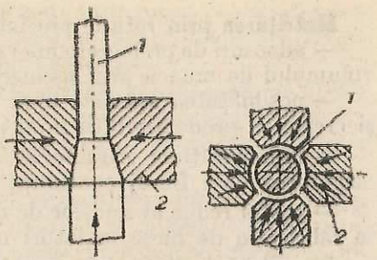


Fig. 37.35. Sensul de acțiune a forțelor și de deplasare a piesei matrițate prin rotație:
1 — semifabricat; *2* — scule de deformare.

Materialul inițial la matrițarea prin rotație este constituit din bare rotunde, pătrate sau tubulare, care se prelucrează atît la cald cît și la rece.

Procedeul se aplică la producția în serie sau în masă la obținerea unor piese, cum sînt: axuri în trepte cilindrice, conice sau mixte, tije pentru barele de direcție, axuri de la cutia de viteze, osii de vagoane, bare din oțeluri speciale, manșoane de racordare pentru industria petrolieră și altele.

În figura 37.36 sînt reprezentate bare și axuri forjate prin rotație.

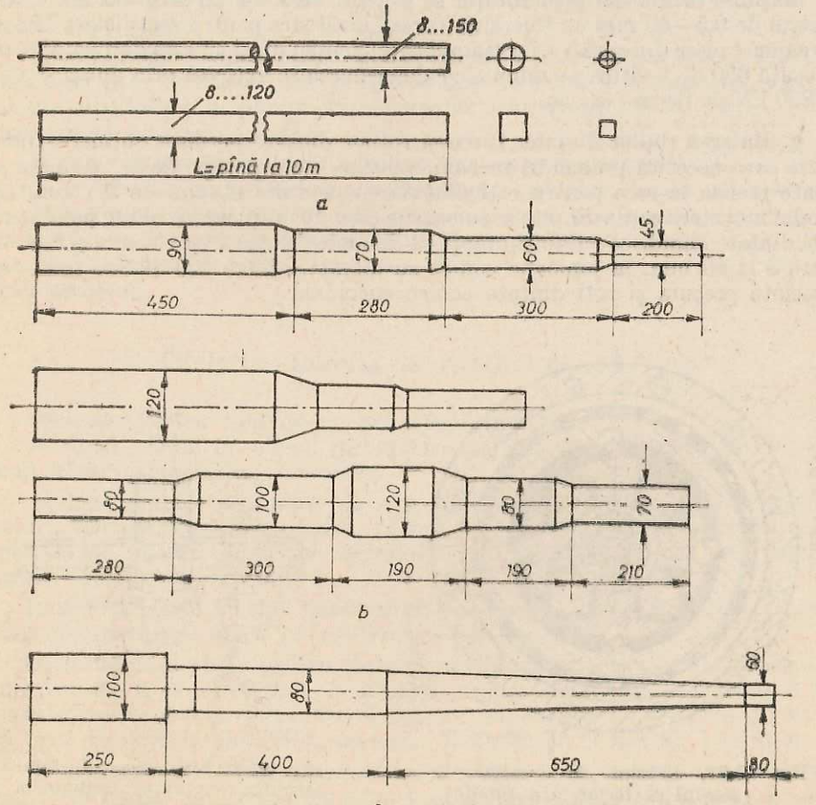


Fig. 37.36. Bare și axuri forjate prin rotație.

Matrițarea prin rotație prezintă o serie de avantaje, cum sînt:

— adaosuri de prelucrare mici și lipsa bavurii, fapt ce determină reducerea volumului de muncă prin așchiere;

— posibilitatea aplicării unui grad mare de deformare la fiecare trecere și creșterea productivității muncii datorită vitezelor mari de deformare;

— îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale pieselor matrițate prin asigurarea unui fibraj continuu;

— costul redus al sculelor de deformare și condiții economice avantajoase la fabricația de piese în loturi mici.

Procedeul prezintă dezavantaj datorită costului ridicat al mașinilor, necesitatea unor laminate cu toleranțe strînse, uzarea mare a sculelor și întreținerea complexă a mașinilor.

Mașinile de forjat prin rotație pot fi verticale sau orizontale.

În figura 37.37 este reprezentată schema de principiu a unei mașini orizontale de forjat prin rotație. Mașina este prevăzută cu două carcase, una fiind fixă *1*, iar cealaltă rotativă *2*, cu o pîrghie oscilantă *3* și cu ciocane de deformare *4* care se deplasează spre interior unde se află materialul, provocînd deformarea acestuia.

Mașinile orizontale prin rotație se folosesc la matrițarea pieselor cu diametrul de 9,5—40 mm cu toleranțe corespunzătoare pentru rectificare. Matrițarea unei piese durează 5 s, iar timpul total pentru un ciclu este de 15 s. Mașina execută 650 de lovituri pe minut, iar deformarea se execută prin apăsare pînă la 800 kN pe fiecare ciocan.

g. **Rularea roților dințate.** Rularea roților dințate permite obținerea unor piese care necesită prelucrări mecanice puține sau aproape deloc. Rularea se poate realiza la rece pentru roți dințate cu modulul maxim de 2,5 mm. La modul mai mare roțile dințate se rulează la cald. Prin rulare la cald se pot obține roți dințate cilindrice cu dinți drepți cu diametrul între 24 și 600 mm și module între 3 și 10 mm, la pinioane conice cu diametre între 175 și 350 mm, tije canelate precum și roți dințate conice elicoidale.

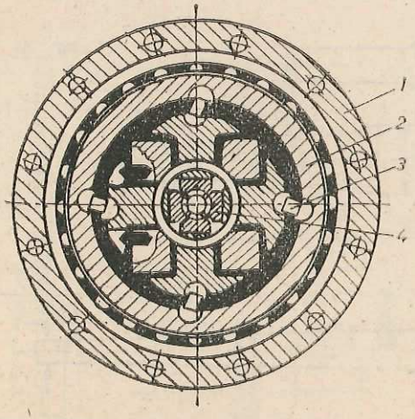


Fig. 37.37. Schema de principiu a unei mașini de forjat prin rotație:
1 — carcasă fixă; *2* — carcasă rotativă; *3* — pîrghie oscilantă; *4* — scule de deformare.

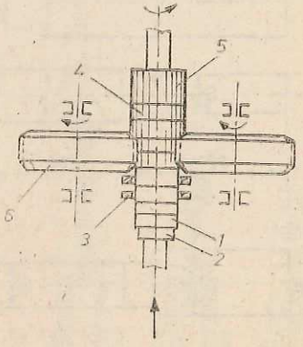


Fig. 37.38. Schema principiului rulării cu avans continuu a roților dințate.

Precizia de execuție a roților dințate obținute prin rulare la cald fiind de clasa a 3-a. Pentru precizie mai ridicată, rularea la cald se completează cu o calibrare prin rulare la rece sau cu o prelucrare mecanică.

Rularea la cald a danturii exterioare a roților dințate se execută pe mașini universale care permit rularea individuală a danturii și cu avans continuu pentru un grup de semifabricate asamblate sau pe mașini speciale pentru rularea individuală a danturii.

Schema procesului de rulare cuprinde: matrițarea roții dințate, tratamentul termic primar, sablarea, încălzirea prin inducție și rularea danturii. Operații ulterioare rulării: curățirea pieselor de oxizi, prelucrarea mecanică, tratamentul termic final și rectificarea.

În figura 37.38 este reprezentat procedeul de rulat dantura cu avans continuu. Grupul de semifabricate *1* este împins de suportul inferior *2* în inductorul inelar *3* care asigură încălzirea materialului. Semifabricatul *4* se sprijină pe roata dințată de divizare *5* care servește drept model pentru rularea danturii roților. Deformarea materialului se realizează cu ajutorul sculelor dințate *6*, care sînt angrenate cu roata divizoare *5*, după ce semifabricatul a atins temperatura de lucru. Prin mișcarea de avans de 7—8 mm/s, piesa la sfîrșitul rulării părăsește spațiul de lucru dintre cilindrii dințați, înlocuind roata de divizare *2*, ale cărei funcții vor fi îndeplinite succesiv de fiecare roată după rulare.

Semifabricatul supus rulării trebuie să aibă o precizie ridicată, obținută de obicei prin rectificare, iar pentru oțeluri se prevede un conținut maxim de sulf de 0,13% și de plumb cît mai scăzut, pentru a nu influența defavorabil deformarea plastică la cald.

Roțile dințate obținute prin rulare au o precizie comparabilă cu aceea a roților dințate prelucrate prin așchiere în două faze. Ciclul de fabricație la roțile dințate rulate este cu 60% mai scurt decît la cele obținute din piese matrițate, caracteristicile mecanice sînt superioare datorită fibrajului continuu și costul de fabricație mai scăzut cu 40—60%, în comparație cu roțile fabricate prin așchiere.

9. Oțelurile folosite la executarea matrițelor

Oțelurile pentru matrițe se pot clasifica astfel:

— după gradul de aliere, în: oțeluri carbon, oțeluri slab aliate, oțeluri înalt aliate și superaliaje speciale;

— după grupele de mașini de matrițare, în: oțeluri destinate matrițelor pentru ciocane și prese mecanice, oțeluri destinate matrițelor pentru mașini specializate, oțeluri destinate matrițelor pentru prese hidraulice și oțeluri pentru matrițe de extrudare.

Prin STAS 3611-66 sînt standardizate oțelurile aliate pentru scule cuprinzînd oțeluri mediu aliate cu conținut redus de nichel.

Oțelurile de matrițe pentru ciocane trebuie să aibă tenacitate ridicată și omogenitate a proprietăților în întregul volum. Din această categorie fac parte oțelurile carbon (OLC 60 N, STAS 880-66), oțelurile Cr-Ni (WM45), oțelurile Cr-Ni-MI (MoCN15), oțelurile Ni-Cr-Mo-V (VMoCN17) și altele.

Pentru matrițe destinate preselor și mașinilor orizontale de forjat se folosesc oțeluri aliate cu Cr și W, pentru a se asigura stabilitatea la cald și rezistența la oboseală termică.

În cazul procedeelor de matrițare cu viteze foarte mari se folosesc pentru confecționarea matrițelor oțeluri de mare durabilitate.

Pentru matrițe mari destinate ambutisării precum și în cazul matrițelor destinate fabricației de serie mică se folosesc oțeluri turnate, fonte speciale (aliate cu crom și cupru) și rășinile epoxidice cu adaosuri pentru creșterea rezistenței la uzare, îndeosebi, în industria aeronautică.

Matrițele folosite la obținerea unui număr oarecare de prese prezintă un anumit grad de uzare de aceea ele se supun recondiționării.

Mijloacele de recondiționare a matrițelor sînt următoarele:

— prelucrarea completă a locașului de finisare;

— prelucrarea parțială a locașului de finisare;

— prelucrarea locașului de finisare la dimensiuni mai mari, corespunzătoare unei piese de același tip;

— încărcarea prin sudare a porțiunilor uzate sau a întregii suprafețe active a locașului de finisare.

10. Controlul și remanierea defectelor pieselor matrițate

Condițiile de calitate ale pieselor matrițate se prevăd în standarde, norme tehnice și desene de execuție.

Pentru aprecierea diferitelor proprietăți ale pieselor, dimensionarea, caracteristici mecanice sau altele se folosesc de obicei două aspecte: nivelul calității și uniformitatea calității.

Condițiile de recepție, modul de prelucrare a probelor și numărul de încercări pe lotul de piese livrate sînt prevăzute în STAS 1097/1-74, STAS 1097/2-76 și STAS 1299-79.

Controlul pieselor matrițate include controlul geometric și controlul caracteristicilor mecanice.

Controlul geometric are drept scop să constate dacă dimensiunile pieselor matrițate corespund limitelor de toleranță prescrise cu cele de pe desenul piesei. Totodată, se controlează dacă piesa nu a suferit deformări, curbări etc. care nu se încadrează în limitele admise.

Prin controlul mecanic se urmărește să se constate dacă piesele matrițate au caracteristicile mecanice prevăzute în standarde.

Defectele de suprafață, microstructură, abaterile de la valorile caracteristicilor și proprietăților fizico-mecanice și tehnologice, ale pieselor forjate liber și în matrițe sînt admise în limitele prevăzute în STAS 6092-66.

a. **Defectele pieselor matrițate.** Din punctul de vedere al provenienței, defectele pieselor matrițate pot fi de material și de prelucrare prin matrițare.

Defectele de material provin de la elaborare sau de la laminare. Din această grupă fac parte: incluziunile nemetalice, fisurile intercristaline, defectele de suprafață (crăpăturile la cald, sudurile la rece etc.) și fragilitatea la cald.

Defectele de matrițare cele mai frecvent întîlnite sînt:

— abaterile dimensionale, adică neconcordanța dintre dimensiunile piesei matrițate și cele indicate în desenul piesei;

— matrițarea incompletă se caracterizează prin dimensiunile piesei mărite în direcția perpendiculară pe suprafața de separație;

— suprapunerile de material care se formează la trecerea de la o secție la alta;

— amprentele datorate urmelor de oxizi de pe matrițe;

— dezaxarea se caracterizează prin deplasarea în suprafața de separație a unei jumătăți de piesă în raport cu cealaltă jumătate.

b. **Remanierea defectelor.** Metodele de înlăturare a unor defecte ale pieselor matrițate sînt:

— polizarea sau dăltuirea pentru îndepărtarea fisurilor, bavurilor, îndoirilor;

— calibrarea sau sudarea în cazul pieselor matrițate incomplet, cu proeminențe sau cu lovituri;

— îndreptarea în matrițe a pieselor curbate.

Piesele care nu au structura necorespunzătoare se supun tratamentului termic adecvat (recoacere, normalizare).

D. ORGANIZAREA ERGONOMICĂ A LOCULUI DE MUNCĂ ÎN SECȚIILE DE FORJĂ

1. Amplasarea secției

În întreprinderile metalurgice sau constructoare de mașini, secția de forjă trebuie astfel amplasată încît să asigure un flux tehnologic cît mai rațional. Potrivit acestui criteriu, secția de forjă va fi amplasată între depozitul de semifabricate-lingouri și laminate și secțiile de tratament termic și de prelucrare prin așchiere. Distanța dintre forjă și depozit va fi cu atît mai mică, cu cît semifabricatele utilizate vor fi mai grele și în cantități mai mari.

Alte considerente de care se ține seama la amplasarea secțiilor de forjă sînt: natura solului, direcția vînturilor predominante, care să asigure eliminarea rapidă a gazelor arse și a nocivităților din secție.

2. Amplasarea utilajelor

Pentru asigurarea desfășurării proceselor tehnologice în condiții de productivitate maximă, de siguranță a lucrului și de bună calitate, fără pierderi de timp, utilajele secțiilor de forjă trebuie amplasate în pozițiile cele mai raționale, atît unele față de celelalte, cît și în ansamblul general al secției. Astfel, atelierele de forjare liberă și de matrițare vor ocupa, în cadrul aceleiași secții, spații distincte, ținîndu-se seama de specificul lor de lucru.

În general, problema amplasării utilajelor este deosebit de complexă, depinzînd de o serie de factori, cum sînt:

— tipul fabricației;

— volumul producției;

— diversitatea utilajelor.

Tipul fabricației (unicate, de serie mică, în serie mare, în masă) influențează modul de amplasare a utilajelor în sensul asigurării unei productivități maxime, a condițiilor de siguranță și de protecție a muncii și prin folosirea cît mai rațională a spațiului disponibil.

Volumul producției este elementul care definește și clasifică diferite secții de forjă în grupe de complexitate.

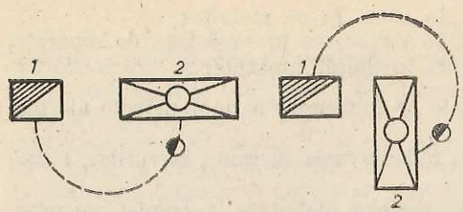


Fig. 37.39. Amplasarea ciocanelor pentru forjarea liberă.

Diversitatea utilajelor (ciocane, prese mecanice, mașini de forjat orizontale, mașini speciale etc.) impune gruparea lor după tipul constructiv.

În unele cazuri, de exemplu, secțiile de matrițare pentru piese matrițate de serie mică se organizează pe principiul tehnologiilor de grup, pe grupe de utilaje tehnologice de matrițare specializate, fie în linie, fie separat. Astfel, utilajele tehnologice de bază (ciocane, prese, mașini de forjat orizontale etc.) se amplasează separat pe grupe specializate de utilaje pentru debavurare, îndreptare, calibrare, curățire și tratament termic.

În figura 37.39 sînt reprezentate două variante de amplasare a unor ciocane de forjare liberă, împreună cu cuptoarele de încălzire. În acest fel, radiațiile cuptorului *1* nu pot ajunge pînă la forjorul de la ciocanul *2*, iar manipularea materialului de la cuptor la ciocan este relativ simplă.

La amplasarea preselor hidraulice se ține seama de asigurarea spațiului necesar manipulării pieselor foarte mari, de posibilitățile de depozitare și de asigurarea protecției împotriva radiațiilor de la cuptoare.

În figura 37.40 este reprezentată amplasarea a două prese hidraulice *1* cu cuptoarele de încălzire *2*, la care materialele forjate sînt manipulate cu ajutorul podului rulant *3*. Dacă se folosesc manipulatoare de forjă, distanța dintre cele două prese poate fi redusă și toate utilajele pot fi amplasate compact.

La fabricația în serie mare sau în masă este caracteristică specializarea pe operații sau pe tipuri de piese. În acest caz, toate mijloacele de transport

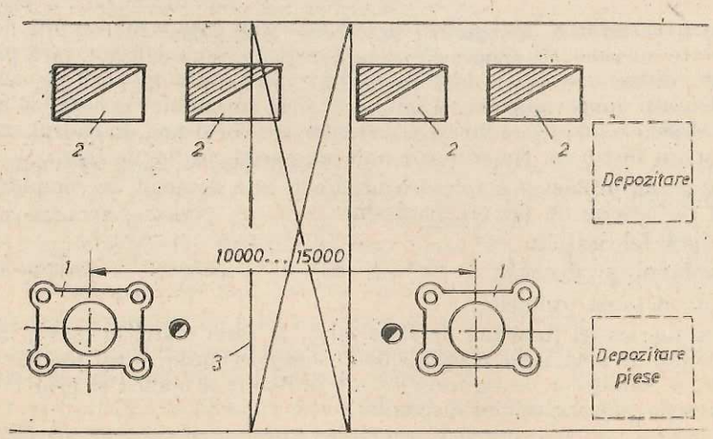


Fig. 37.40. Amplasarea preselor hidraulice.

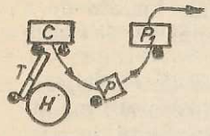


Fig. 37.41. Amplasarea unui grup de mașini pentru matrițarea arborilor cotiți:
H — cuptor rotativ; *T* — transportor; *C* — ciocan pentru matrițare; *P* — presă de debavurat; P_1 — piesă de calibrat.

și manipulare sînt mecanizate, ceea ce creează premizele liniilor continue de matrițare.

În figura 37.41 este reprezentat modul de organizare a grupelor de mașini la producția în masă pentru matrițarea arborilor cotiți.

3. Organizarea locului de muncă

Pentru creșterea productivității muncii, pe lîngă amplasarea rațională a utilajului în cadrul atelierului și a fiecărui loc de muncă, trebuie luate măsuri de organizare a locului de muncă.

În acest sens, pentru echipele de forjori trebuie să se prevadă spații pentru depozitarea semifabricatelor, a sculelor și dispozitivelor, pieselor și a altor materiale. Aceste spații nu trebuie să stînjenească desfășurarea normală a activității echipei de forjori, atît prin poziția lor, cît și prin radiațiile termice ale pieselor calde.

Sculele simple se vor păstra în rasteluri speciale, iar matrițele bine curățate și unse în spații speciale amenajate sau în depozite speciale.

4. Mecanizarea și automatizarea procesului de producție

Mecanizarea proceselor tehnologice în secțiile de forjă are în vedere următoarele:

— mecanizarea manipulării semifabricatului sau piesei între operații;
— operații de transfer din timpul fazelor de matrițare;
— crearea unor linii continue mecanizate.

De asemenea, se mecanizează operațiile de încărcare și descărcare în procesul de încălzire a semifabricatelor.

Automatizarea se pretează îndeosebi în procesele tehnologice de matrițare, iar gradul și mijloacele de automatizare depind în mare măsură de volumul producției.

Automatizarea se poate realiza fie la o serie de operații din cadrul procesului tehnologic de matrițare, fie la întregul proces tehnologic.

O linie automată cuprinde operații care au o legătură tehnologică reciprocă, ca, de exemplu, încălzirea, matrițarea, debavurarea, calibrarea etc.

E. MĂSURI DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII LA FORJAREA LIBERĂ ȘI ÎN MATRIȚE

La forjarea liberă și în matrițe, deoarece se lucrează cu piese de dimensiuni mari, la temperaturi înalte și cu utilaje care dezvoltă forțe mari în timpul lucrului, se impun măsuri sporite de tehnică a securității muncii.

Personalul muncitor va fi supus unui instructaj temeinic înainte de a i se încredința o anumită muncă în secțiile de forjă, în scopul evitării accidentelor și a bolilor profesionale.

La forjarea liberă și în matriță. Se verifică starea sculelor și a utilajelor. Dacă se constată defecțiuni la scule sau utilaje, acestea vor fi reparate înainte de a se folosi. În funcție de natura defecțiunii, reparațiile se execută de către forjori sau de către personalul de la întreținere.

Nicovala și matrițele se curăță de oxizi înainte de începerea lucrului, fie cu aer comprimat, fie cu perie, însă nu se vor curăța cu mîna liberă sau cu matrița.

Se interzice forjarea metalului supraîncălzit sau insuficient încălzit, deoarece devine fragil în primul caz și pot sări bucăți sau își pierde elasticitatea în al doilea caz, transmițînd la lovire vibrații puternice cleștelui și respectiv muncitorului.

Piesa trebuie așezată bine pe nicovală și în contact perfect cu aceasta; dacă se execută tăierea, atunci piesa se va așeza astfel încît linia după care se taie să corespundă cu muchia nicovalei.

Ciocanele de forjare liberă și de matrițare se vor monta pe fundații corespunzătoare și elastice, pentru a diminua vibrațiile puternice în timpul lucrului.

Cilindrul ciocanului va fi prevăzut cu dispozitive de siguranță, iar pedala de comandă a ciocanului va fi prevăzută cu apărătoare.

Pîrghia de acționare a ciocanului trebuie să fie prevăzută cu un dispozitiv de siguranță pentru menținerea berbecului în poziția ridicată sau coborîtă în timpul întreruperii lucrului.

Ciocanele cu abur sau cu aer comprimat trebuie să aibă semne indicatoare pe ghidaje și pe berbec, care să indice limita de coborîre a berbecului corespunzătoare poziției de jos a pistonului în cilindru.

Matrițele și nicovalele trebuie montate corect, adică să fie în contact perfect cu suprafața berbecului ciocanului și să fie bine fixate prin pene; nu se va lucra cu matrițe încălzite prea puternic.

La presele hidraulice. Pentru evitarea accidentelor, presele hidraulice trebuie bine întreținute și reglate cu atenție.

Flanșele conductelor trebuie să fie bine strînse, pentru a nu permite scăpări de apă; săniile de ghidare să fie bine unse iar piulițele săniilor de ghidare să fie strînse.

Supapele de distribuție a apei trebuie să fie în bună stare de funcționare și bine șlefuite; reparațiile din rețeaua de conducte se va executa numai după oprirea totală a întregii instalații.

Pentru o funcționare bună și sigură, este necesar ca toate elementele componente ale presei care suportă presiunea aerului, aburului sau a apei să fie supuse periodic la încercări sub sarcină, la mersul în gol (pentru verificarea etanșeității) și la verificarea instalației în ansamblu.

La presele mecanice. Înainte de pornire se controlează montarea matriței și a poansonului și se verifică starea de funcționare a tuturor mecanismelor prin pornirea presei în gol.

Se interzice manipularea pieselor cu mîna sub berbecul presei; decuplarea presei este obligatorie după terminarea lucrului.

Se interzice orice reparație în timpul funcționării presei. Zonele periculoase ale mașinii se vor proteja cu apărători metalice.

Transportul pieselor forjate. La transportul pieselor forjate și matrițate se vor respecta următoarele măsuri:

— dispozitivele folosite trebuie supuse zilnic și periodic la revizii și încercări;

— instalațiile de ridicat și transportat vor fi prevăzute cu dispozitive de semnalizare acustică;

— dispozitivele pentru prinderea pieselor trebuie să fie prevăzute cu siguranțe pentru evitarea deschiderii acestora;

— piesele forjate mici se transportă în cutii metalice cu electrocare sau autocare. Cutiile metalice se supun reviziei, cel puțin odată la trei luni;

— piesele grele se transportă cu vagoane de cale ferată; viteza de circulație a vagoanelor în interiorul forjei nu trebuie să depășească 2 km/h;

— se interzice staționarea sau deplasarea sub sarcinile ridicate ale podului rulant.

F. DEFORMAREA PLASTICĂ PRIN LAMINARE, EXTRUDARE, TREFILARE ȘI AMBUTISARE

1. Laminarea

Laminarea este procedeul prin care se prelucrează prin deformare plastică aproximativ 75% din producția de oțel realizată în industria metalurgică, iar cealaltă cantitate de 25% fiind prelucrată prin turnare sau forjare de piese.

Datorită faptului că laminarea se realizează cu cilindri cu mișcare continuă de rotație, are loc deformarea continuă a metalului, ceea ce face ca procedeul să fie mult mai productiv în comparație cu alte procedee de prelucrare prin deformare.

a. **Produsele obținute prin laminare.** Prin laminare se obțin două mari categorii de produse, și anume (tabelul 37.2).

— produse semifabricate;

— produse finite.

Semifabricatele se obțin prin laminarea lingourilor de oțel și cuprind (blumuri, sleburi, țagle, platine).

Produsele finite sînt standardizate în țara noastră și se împart în următoarele categorii principale: profile, table și benzi, sîrmă, țevi laminate speciale.

Profilele laminate se împart în două categorii: profile simple (pătrate, rotunde, dreptunghiulare, hexagonale), profile fasonate: oțel cornier, profile în formă de I, T etc.

Tabla laminată poate fi de două feluri: tablă de oțel groasă între 4 și 100 mm grosime și tablă subțire avînd grosimea de 0,2—4,0 mm.

Sîrma laminată are secțiunea rotundă cu diametrul cuprins între 5 și 12 mm.

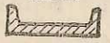
Laminatele speciale cuprind produse, ca: discuri, roți, bandaje etc.

b. **Construcția laminorului.** Laminorul este definit ca fiind o instalație complexă pentru prelucrare prin laminare, la cald sau la rece, a materialelor metalice.

Un laminor este constituit din una sau mai multe caje; o cajă este un ansamblu format din cilindrii de laminare și cadrul acestora și o serie de mecanisme de bază și auxiliare.

Laminorul format din mai multe caje de laminare împreună cu mecanismele sale formează o linie de laminare (fig. 37.42)

TABELUL 37.2

Denumirea	Forma secțiunii	Dimensiunile caracteristice în mm	Calitatea materialelor	STAS
Blumuri		Latura 140—400 mm	Oțel carbon aliat de construcție pentru scule	436-75
Sleburi		Lățimea maximă 900 Înălțimea minimă 70	Oțel carbon aliat de construcție pentru scule	436-75
Țagle		Secțiunea 40×40 140×140	Oțel carbon aliat de construcție pentru scule	436-75
Platine		Laturi 140—300 Grosimea 7—40	Oțel carbon aliat de construcție pentru scule	6791-71
Bare pătrate		Secțiunea 8×8 140×140	Oțel carbon aliat de construcție	334-74
Bare rotunde		Diametrul Ø 12 — Ø 240	Oțel carbon aliat de construcție	333-71
Profil hexagonal		Deschiderea cheii 4—100	Trase din oțel carbon sau aliat	7828-78
Profile fasonate: — cornier cu aripi egale		150×150×16 20×20×3	OL 00	424-79
— cornier cu aripi neegale		40×60×5 100×150×14	OL 37	425-79
— oțel I		8—40	OL 37	565-79
— oțel U		65—30	OL 37	564-79
— oțel T		2—5	OL 37	566-68
Table groase		Grosimea 40—40	OL 37	437-73
Oțel lat pentru arcuri		Lățimea 30—140 Grosimea 3—13	ARC 1 ARC 9	3020-69

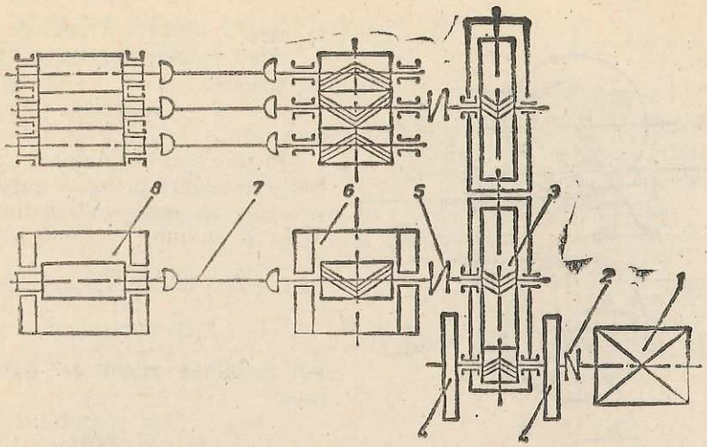


Fig. 37.42. Schema unui laminor cu cilindri orizontali:
1 — motor electric; *2* — cuplaj; *3* — reductor; *4* — volant; *5* — cuplajul principal; *6* — cajă cu cilindri dințați; *7* — bară de cuplare; *8* — cajă de lucru.

Cilindrii de laminare sînt sculele cu ajutorul cărora se realizează procesul de laminare propriu-zisă; cilindrii pot fi drepți (fig.37. 43, *a*), pentru produse plate și cilindri calibrați (fig. 37.43, *b*), pentru produse profilate.

Calibrul reprezintă conturul secțiunii la cald a produsului laminat, executat pe suprafața celor doi cilindri care lucrează împreună.

Cilindrii de laminare se execută din oțeluri carbon, oțeluri aliate, fonte cenușii, fonte dure și din fonte aliate.

c. **Principiul procedeului.** În timpul laminării are loc în zona *ABCD* (fig. 37.44), numită focarul de deformare, o reducere a secțiunii materialului inițial și creșterea lungimii și lățimii.

Reducerea relativă:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{\Delta h}{h_1}, \qquad (37.20)$$

în care:

h_1 este înălțimea inițială a semifabricatului;

h_2 — înălțimea semifabricatului după laminare.

Micșorarea secțiunii semifabricatului după fiecare trecere, exprimată în procente față de secțiunea inițială, se numește *grad de laminare:*

$$R = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100\%, \qquad (37.21)$$

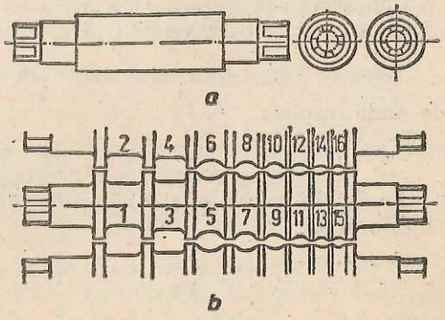


Fig. 37.43. Cilindrii de laminare:
a — cu tăblia netedă; *b* — cu tăblia calibrată; *1—16* — calibrele cilindrului laminorului.

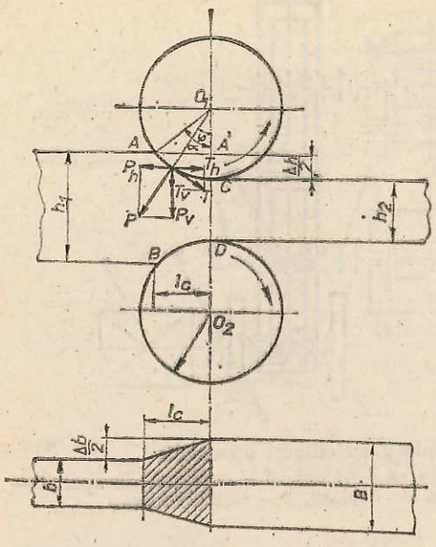


Fig. 37.44. Schema forțelor dezvoltate la laminarea longitudinală.

în care:

S_0 este secțiunea înainte de trecere;

S — secțiunea după trecere.

În procesul de laminare o importanță deosebită prezintă unghiul de prindere α, care se obține din figura 37.44 și anume:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{h_1 - h_2}{2R} = 1 - \frac{\Delta h}{D}, \qquad (37.22)$$

iar lungimea zonei de deformare este:

$$l_c = \sqrt{R\Delta h}. \qquad (37.23)$$

În momentul inițial al laminării, contactul dintre material și cilindri determină o forță normală P și o forță de frecare T, care acționează tangențial față de suprafața cilindrilor și perpendicular pe forța P.

Pentru ca metalul să poată fi prins și antrenat de cilindri, componenta orizontală a forței de frecare T_h trebuie să fie mai mare decît componenta orizontală P_h a forței normale.

Comprimarea metalului între cilindrii de laminare este determinată de componenta verticală P_v și de componenta T_v.

Deci: $$T_h > P_h. \qquad (37.24)$$

Dar $$T_h = T\cos\alpha \qquad (37.25)_1$$

$$P_h = P\sin\alpha. \qquad (37.25)_2$$

Cunoscîndu-se forța de frecare $T = \mu P$ (unde μ este coeficientul de frecare), atunci pe baza relației (37.24) se poate scrie:

$$\mu P\cos\alpha > P\sin\alpha, \qquad (37.26)$$

de unde rezultă:

$$\mu > \operatorname{tg}\alpha. \qquad (37.27)$$

Pe de altă parte, se știe că coeficientul de frecare μ este egal cu tangenta unghiului de frecare φ, deci:

$$\mu = \operatorname{tg}\varphi \qquad (37.28)_1$$

sau

$$\varphi \geqslant \alpha. \qquad (37.28)_2$$

Prin urmare, cilindrii prind metalul și-l antrenează dacă unghiul de prindere este mai mic decît unghiul de frecare.

Presiunea $\bar{P}$ asupra cilindrilor laminorului este dată de expresia:

$$\bar{P} = \bar{p}_m l_c S_c, \qquad (37.29)$$

în care:

$\bar{p}_m$ este presiunea specifică medie;

l_c — lungimea de contact;

S_c — suprafața de contact $\left(S_c = \frac{b_1 + b_2}{2}\right)$.

d. **Laminarea țevilor.** Procesul tehnologic de obținere a țevilor cuprinde trei faze:

— obținerea unei țevi scurte cu pereți groși (eboșă) din lingou sau dintr-un semifabricat;

— obținerea țevii de dimensiuni necesare prin laminarea eboșei;

— finisarea țevilor laminate.

Eboșa se obține prin perforarea materialului inițial pe un laminor perforator compus din doi cilindri bitronconici (fig. 37.45) ale căror axe formează între ele un unghi. Deoarece cilindrii se rotesc în același sens, materialul primește o mișcare de rotație, iar datorită înclinației axelor cilindrilor mai primește și o mișcare de avans.

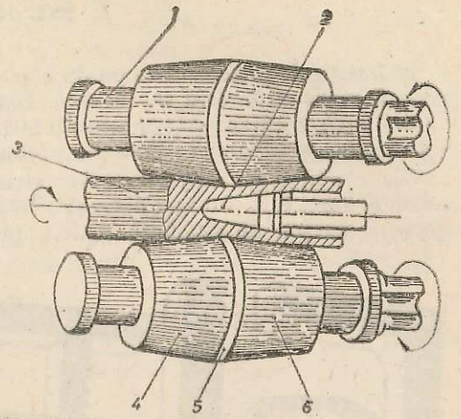


Fig. 37.45. Schema unui laminor perforator: *1* — cilindru bitronconic; *2* — dorn; *3* — material inițial; *4* — conul de perforare; *5* — porțiunea de calibrare; *6* — conul de laminare.

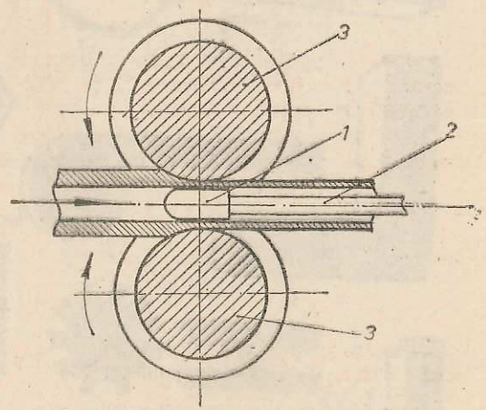


Fig. 37.46. Laminarea țevilor pe dorn.

Între cei doi cilindri se introduce un dorn care contribuie la obținerea găurii interioare a țevii, uniformă pe întreaga lungime a țevii.

Țevile obținute pe laminorul perforator se laminează în continuare pentru realizarea țevilor cu dimensiuni prescrise.

Se folosesc mai multe procedee de laminare. În figura 37.46 este reprezentat principiul laminării țevilor pe dorn. Se folosește un laminor duo cu o serie de calibre circulare pînă la cota finală a țevii. În timpul laminării, dornul *1* este menținut de bara *2*, răcită cu apă în calibrul celor doi cilindri *3*.

Finisarea țevilor se aplică cu scopul obținerii unor produse cu suprafețe netede și la dimensiuni precise.

2. Extrudarea

În funcție de dimensiunile produselor și de natura materialului, extrudarea poate fi realizată la cald sau la rece. Extrudarea la cald se aplică fie pentru obținerea de semifabricate sau produse finite, iar extrudarea la rece se folosește numai pentru fabricarea de produse finite.

Gama produselor obținute prin extrudare este foarte largă (fig. 37.47) și cuprinde bare, țevi și o serie întreagă de profile. Prin extrudare se prelucrează oțelurile, aliajele de aluminiu și de cupru, staniul, plumbul și altele.

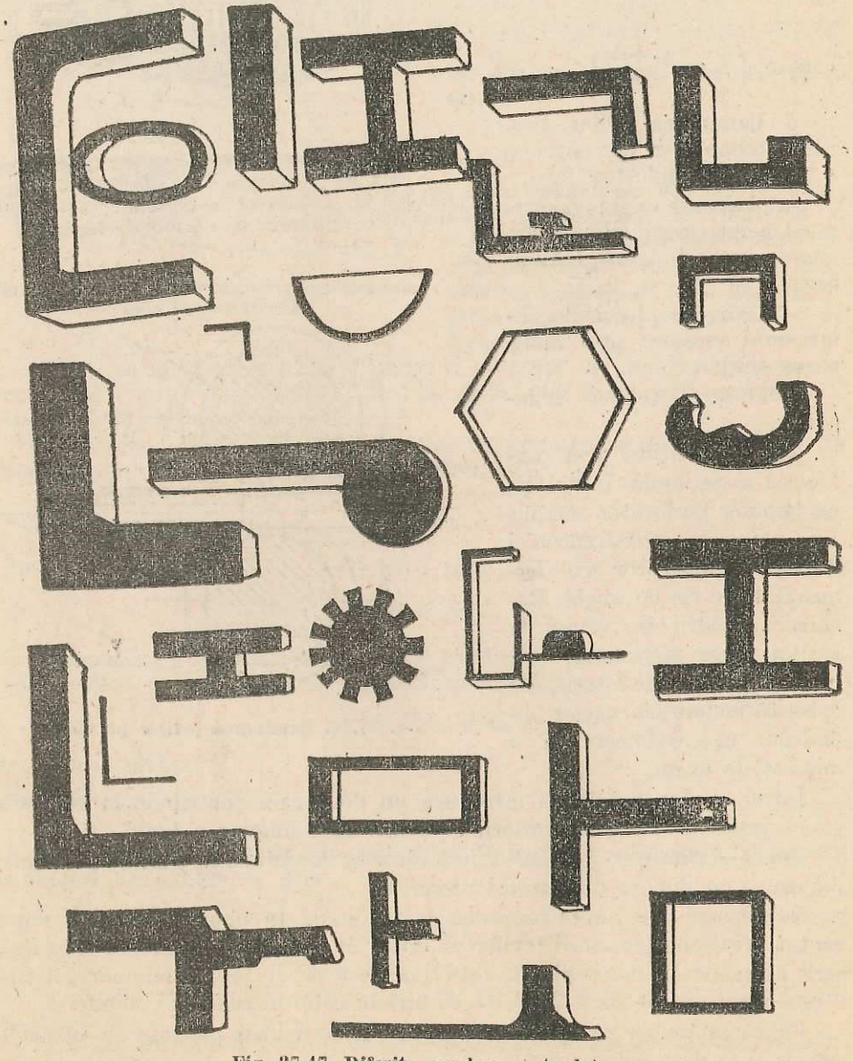


Fig. 37.47. Diferite produse extrudate.

Extrudarea prezintă o serie de avantaje, și anume:

— permite realizarea unor grade mari de deformare λ, care pot fi între 50 și 100, în timp ce la laminare $\lambda \leqslant 2$ pe o trecere;

— produsele extrudate au forme foarte apropiate de cele finite;

— consum specific de material scăzut;

Totodată, extrudarea prezintă și unele dezavantaje, și anume:

— produsele extrudate au o structură și proprietăți mecanice neomogene;

— uzura rapidă a sculelor;

— pierderi mari de metal prin deșeuri.

a. **Procedee de extrudare.** În funcție de direcția și sensul de curgere a materialului supus deformării, există două tipuri de bază la extrudare, și anume:

— Extrudarea directă (fig. 37.48, *a* și *b*), cînd materialul inițial se deplasează în raport cu matrița în direcția de înaintare a poansonului; la acest procedeu se dezvoltă forțe de frecare puternice.

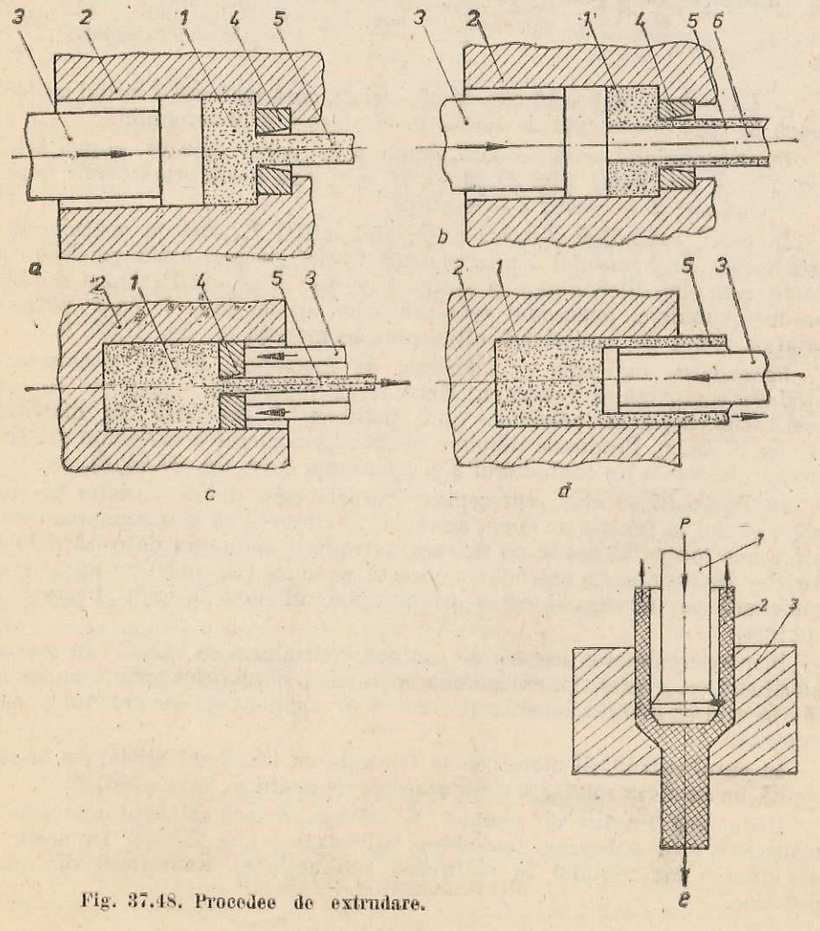


Fig. 37.48. Procedee de extrudare.

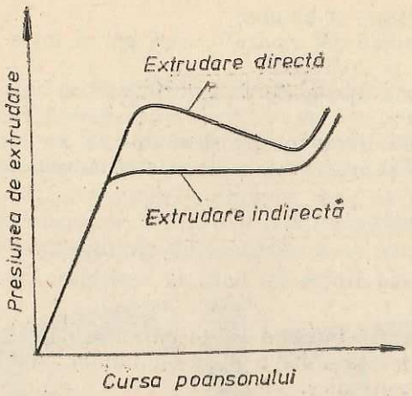


Fig. 37.49. Dependența presiunii de extrudare de cursa poansonului.

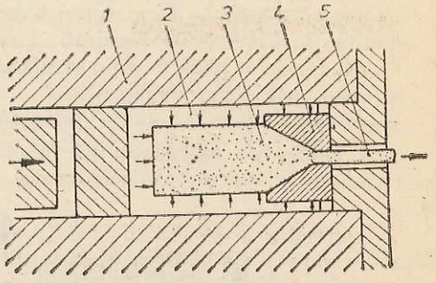


Fig. 37.50. Extrudarea hidrostatică:
1 — container; *2* — lichid sub înaltă presiune; *3* — semifabricat inițial; *4* — matriță; *5* — produsul extrudat.

— Extrudarea indirectă (fig. 37.48, *c* și *d*), cînd materialul inițial se deplasează în sens invers față de sensul de deplasare a poansonului.

Dacă materialul se deplasează simultan în ambele sensuri, atunci are loc extrudarea combinată (fig. 37.48, *e*), în care s-au făcut următoarele notații: *1* — poanson; *2* — piesă; *3* — matriță.

În cazul extrudării directe, materialul inițial *1*, aflat în containerul *2*, este presat de poansonul *3* prin matrița *4*, obținîndu-se astfel produse compacte, cum sînt diferite bare și profile *5* (v. fig. 37.48, *a*). Pentru a se obține produse tubulare, poansonul este prevăzut cu un dorn *6* care pătrunde printr-o gaură din materialul inițial pînă în matriță (v. fig. 37.48, *b*).

Extrudarea indirectă se folosește, de asemenea, pentru obținerea de produse compacte și tubulare. Extrudarea produselor compacte se realizează sub acțiunea presiunii unui poanson *3* prevăzut cu matrița *4* (v. fig. 37.48, *c*). Produsele tubulare se obțin prin curgerea metalului printr-un spațiu circular între containerul *2* și poansonul *3* (v. fig. 37.48, *d*).

În figura 37.49 sînt reprezentate curbele care indică variația presiunii poansonului în funcție de cursa acestuia. Se observă că la extrudarea directă presiunea începe să scadă pe măsura extrudării metalului datorită reducerii forțelor de frecare. La extrudarea directă presiunea se menține aproximativ constantă pe întreaga cursă a poansonului, întrucît lipsește frecarea de contact.

Pentru diminuarea frecării de contact, extrudarea se execută în prezența lubrifianților. Astfel, la extrudarea metalelor și aliajelor neferoase la rece sau la cald se folosesc lubrifianți care au în componența lor grafitul și uleiul mineral.

În cazul extrudării oțelurilor se folosește ca lubrifiant sticla, fie în stare topită fie în stare solidă, sau un amestec de grafit și leșie sulfitică.

Reducerea frecării de contact și mărirea deformabilității metalelor se realizează prin aplicarea extrudării hidrostatice (fig. 37.50). În acest caz deformarea materialului se realizează sub acțiunea unui fluid sub înaltă presiune.

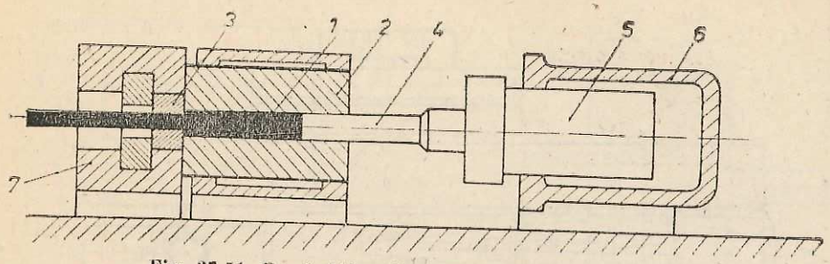


Fig. 37.51. Presă hidraulică orizontală pentru extrudat.

Prin extrudare hidrostatică se obțin produse cu proprietăți mecanice superioare, fără defecte interne și cu suprafața netedă și curată.

Extrudarea se execută, de obicei, pe prese hidraulice orizontale. În figura 37.51 este reprezentat schematic procedeul de extrudare directă. Semifabricatul *1* se află în containerul *2*, fixat în batiul presei. La un capăt al containerului se află matrița *3*, iar la celălalt capăt pătrunde poansonul *4*, care presează materialul, obligîndu-l să curgă prin orificiul matriței. Poansonul *4* este fixat de plunjerul *5*, care se deplasează sub acțiunea unui lichid sub presiune înaltă, aflat în cilindrul *6* al presei. În cadrul anterior *7* al presei se fixează matrița *3*.

b. **Factorii ce influențează extrudarea.** Principalii factori care influențează procesul de extrudare sînt: tipul și gradul de extrudare, temperatura de lucru, viteza de extrudare și frecarea de contact.

În paragraful precedent s-au prezentat cele două procedee de bază aplicate la extrudare. Gradul de extrudare reprezintă raportul dintre aria secțiunii transversale inițiale și aria secțiunii transversale după extrudare:

$$R = \frac{S_0}{S_f} \qquad (37.30)$$

Presiunea necesară extrudării este o funcție aproximativ liniară de logaritmul natural al gradului de extrudare, adică:

$$P = \sigma_c S_0 \ln \frac{S_0}{S_f}, \qquad (37.31)$$

unde σ_c este tensiunea de curgere a materialului extrudat.

Majoritatea metalelor și aliajelor metalice se extrudează la cald pentru a se utiliza avantajul reducerii tensiunii de curgere sau al rezistenței la deformare a materialului atunci cînd crește temperatura.

Creșterea vitezei de lucru la extrudare determină o creștere a presiunii de extrudare. Astfel, la o mărire de 10 ori a vitezei duce la o creștere cu aproximativ 50% a presiunii.

3. Trefilarea sîrmelor. Tragerea barelor și țevilor

a. **Trefilarea sîrmelor și tragerea barelor.** Trefilarea și tragerea se execută la rece, de obicei, prin mai multe treceri, printr-o serie de filiere, ale căror orificii se micșorează treptat, în funcție de diametrul inițial și cel final.

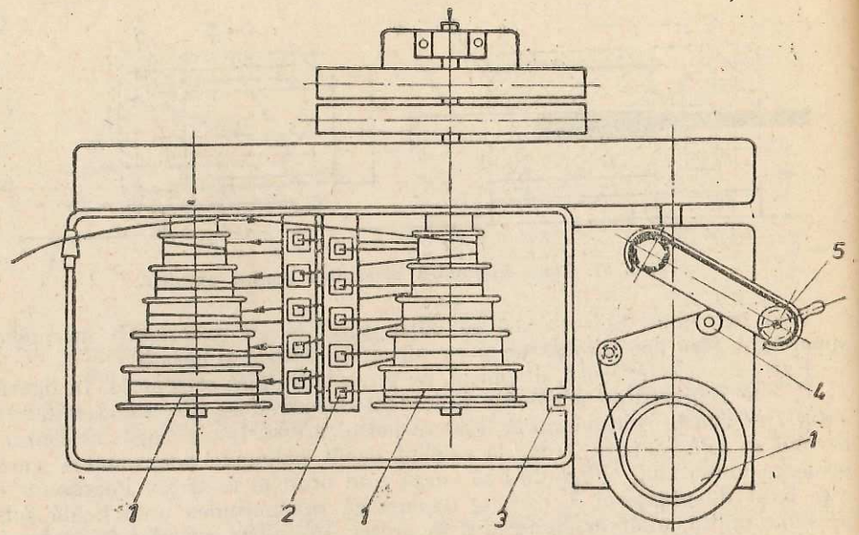


Fig. 37.52. Mașină de trefilat cu mai multe filiere succesive:
1 — tambur de tras; *2* — filiere; *3* — ultima filieră; *5* — troliu de înfășurare; *6* — mecanisme de acționare.

Produsele trefilării sînt sîrme din oțeluri și din metale și aliaje neferoase cu diametrul între 0,02 și pînă la 5 mm, iar produsele tragerii sînt bare cu diametrul peste 5 mm.

Trefilarea se execută pe mașini numite trefiloare care pot fi singulare sau multiple, iar tragerea pe mașini cu mișcare liniară.

În figura 37.52 este reprezentată o mașină de trefilat cu mai multe filiere succesive. Materialul inițial se vîrfuiește și se trece prin prima filieră după care se înfășoară de 2—3 ori pe toba de înfășurare. În continuare sîrma trece prin filierele următoare, astfel încît ultima filieră determină secțiunea sîrmei. Viteza de ieșire a sîrmei din ultima filieră poate atinge pînă la 50 m/s.

Mașinile moderne de trefilat sînt prevăzute cu instalații de recoacere intermediară, astfel că sîrma este încălzită pînă la temperatura de recristalizare, pentru a se înlătura ecruisarea.

În figura 37.53 sînt reprezentate elementele constructive ale filierei folosită la trefilare și la tragere în secțiune rotundă. Partea activă a filierei se execută din carburi metalice sau diamante sintetice.

Înainte de trefilare (tragere) materialele metalice se supun:

— recoacerii pentru mărirea ductibilității;

— curățirii suprafeței pentru înlăturarea oxizilor și a impurităților;

— fosfatării, care constă în aplicarea pe materialul curățat a unui film de fosfați de Mn și Zn;

— cuprării, care se realizează prin introducerea sîrmelor curățate într-o soluție de sulfat de cupru.

Operațiile de cuprare și fosfatare au ca rol să reducă frecarea de contact în timpul trefilării (tragerii).

În cazul metalelor și aliajelor neferoase, reducerea frecării se obține prin folosirea lubrifianților, cum sînt: emulsie de săpun, uleiuri vegetale și altele.

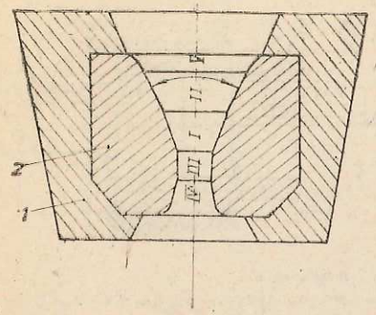


Fig. 37.53. Elemente constructive ale filierei:
1 — suportul filierei; *2* — filiera detașabilă; *I* — con de deformare; *II* — con de curgere; *III* — cilindru de calibrare; *IV* — con de ieșire; *V* — con de intrare; 2α — unghiul de deschidere a conului filierei.

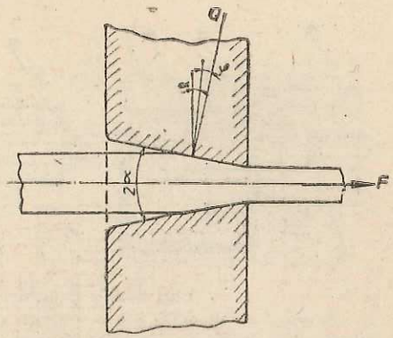


Fig. 37.54. Schema procesului de trefilare.

Schema procesului de trefilare (tragere) este reprezentată în figura 37.54. La tragere, forța F determină apariția unor forțe de compresiune a căror rezultantă Q face cu perpendiculara pe suprafața de lucru a filierei un unghi egal cu unghiul de frecare φ.

Dacă conul de lucru al filierei are un unghi de deschidere de 2α atunci pentru ca să existe echilibru între forțele F și Q trebuie să fie satisfăcută relația:

$$F = Q \sin (\alpha + \varphi). \qquad (37.32)$$

Unghiul conului de lucru al filierei 2α are valori cuprinse între 10 și 20°, iar coeficientul de frecare $\mu = \operatorname{tg} \varphi$ are valori sub 0,05 cărora le corespund unghiuri de frecare sub 3°. În aceste condiții, rezultanta forțelor de comprimare Q va fi de patru pînă la șapte ori mai mare decît forța de tragere.

Forța de tragere se calculează cu relația:

$$F = S_f K_m l_n \frac{S_0}{S_f}, \qquad (37.33)$$

în care:

K_m este rezistența medie la deformare a metalului;

S_0 și S_f — secțiunea înainte și respectiv după trefilare.

În ultimul timp se folosește procedeul de tragere în cîmp ultrasonic (fig. 37.55). Prin aplicarea ultrasunetelor s-a putut mări gradul de reducere a barei și micșora frecarea de contact

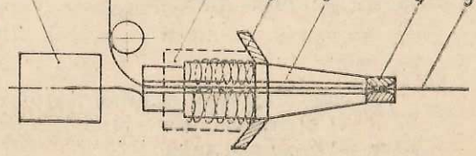


Fig. 37.55. Trefilarea în cîmp ultrasonic:
1 — generator de frecvență; *2* — transductor magnetostrictiv; *3* — concentrator acustic; *4* — filieră; *5* — sîrmă trasă; *6* — suport nodal pentru prindere în bație.

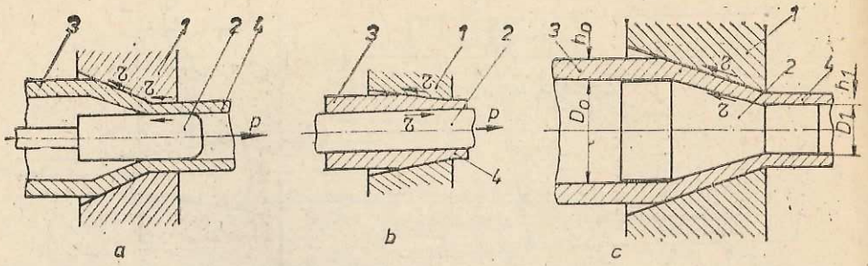


Fig. 37.56. Procedee de tragere a ţevilor:
a — tragere pe dorn fix; *b* — tragere pe dorn mobil; *c* — tragere pe dorn flotant; *1* — filieră; *2* — dorn; *3* — ţeavă laminată; *4* — ţeavă trasă; D_0, D_1 — diametrul interior al ţevii înainte şi după tragere; h_0, h_1 — grosimea peretelui înainte şi după tragere; P — forţa de tragere; τ — forţa de frecare.

b. **Tragerea ţevilor.** Tragerea se aplică ţevilor pentru a se obţine toleranţe dimensionale strînse, o bună finisare a suprafeţei, iar prin introducerea ecruisării creşte limita de curgere şi duritatea materialului.

Tragerea ţevilor se execută fie pe dorn, cînd se menţine un control riguros atît al diametrului exterior cît şi al diametrului interior al ţevii, fie fără dorn, cînd se obţine numai o reducere a diametrului exterior.

În figura 37.56, *a* este reprezentată tragerea pe dorn, cilindric sau conic, montat la capătul unei bare fixe legată de instalaţia de tragere. Tragerea ţevilor poate fi realizată şi cu ajutorul unui dorn mobil care se deplasează odată cu ţeava (fig. 37.56, *b*).

Pentru obţinerea ţevilor cu lungimi mari care se înfăşoară pe tambur se foloseşte procedeul de tragere cu dop plutitor (fig. 37.56, *c*).

Operaţia de tragere a ţevilor se execută pe maşini de tras similare cu cele utilizate la tragerea barelor.

4. Ambutisarea

Ambutisarea este operaţia de deformare plastică care se execută în matriţe cu acţiune simplă (fig. 37.57, *a*) şi cu acţiune dublă directă (fig. 37.57, *b*) sau inversă (fig. 37.57, *c*). Sub acţiunea poansonului *1*, semifabricatul *3* se deformează în matriţa *2*, devenind o piesă de formă cavă. La partea superioară, materialul se află sub inelul de strîngere *4*, iar la ambutisare cu acţiune dublă se foloseşte şi o placă de presiune *5*.

Dacă între poanson şi matriţă există o distanţă egală cu grosimea tablei, atunci ambutisarea se produce fără subţierea materialului; dacă însă această distanţă este mai mică decît grosimea tablei, atunci ambutisarea se realizează cu subţierea materialului.

Inelul de strîngere are rolul de a împiedica formarea cutelor în timpul deformării materialului. Experimental s-a constatat că ambutisarea cu inel de strîngere se aplică dacă:

$$D - d \geqslant 18s, \tag{37.34}$$

în care:
D este diametrul semifabricatului iniţial (tablei);
d — diametrul piesei ambutisate;
s — grosimea tablei.

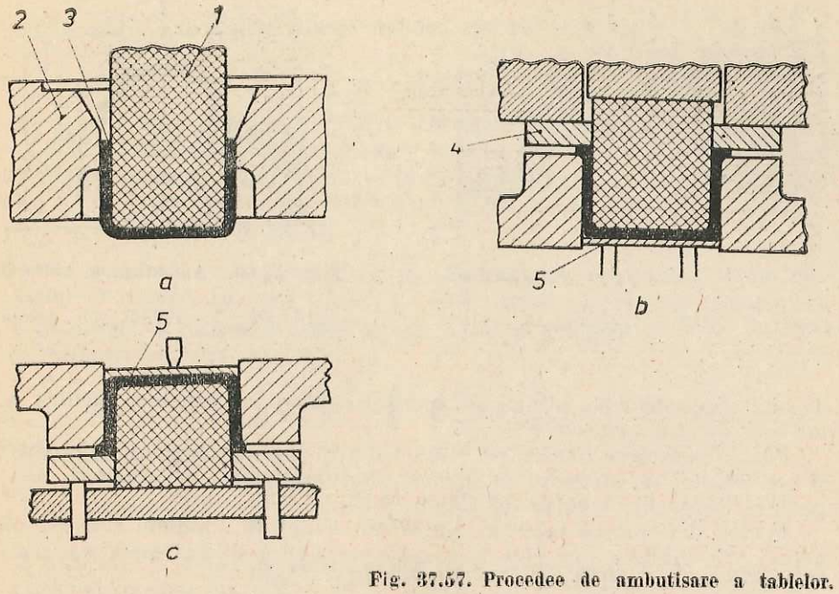


Fig. 37.57. Procedee de ambutisare a tablelor.

În funcţie de natura materialului, de forma şi dimensiunile pieselor, ambutisarea poate fi efectuată dintr-o singură sau din mai multe operaţii (fig. 37.58). Numărul de operaţii de ambutisare necesare realizării unei piese depinde de gradul de deformare admis, dat de relaţia:

$$R = 1 - \frac{D_n}{D_{n-1}} = 1 - m, \tag{37.35}$$

în care:
R este gradul de deformare admis;
D_n — diametrul exterior al piesei ambutisate;
D_{n-1} — diametrul semifabricatului iniţial;
m — coeficientul de ambutisare.

Valorile coeficientului de ambutisare depind de o serie de factori, cum sînt: geometria sculelor (raza de rotunjire a matriţei şi a poansonului), netezimea suprafeţelor de contact, jocul dintre poanson şi matriţă, structura şi proprietăţile tehnologice ale materialului etc.

În practica industrială, pentru prima ambutisare: $m_1 = 0{,}45...0{,}60$, iar pentru următoarele ambutisări: $m_2 = m_3 = ... = m_n = m = 0{,}65...0{,}80$.

În cazul executării unor piese prin mai multe operaţii succesive

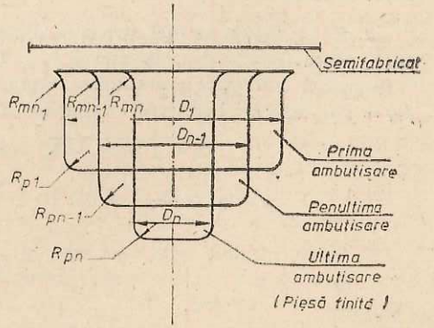


Fig. 37.58. Ambutisarea efectuată cu *n* operaţii:
R_p şi R_m — raze de ambutisare.

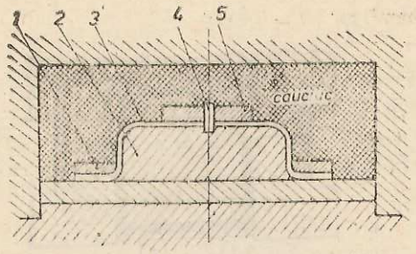


Fig. 37.59. Ambutisarea cu cauciuc: *1* — poanson; *2* — inel de fixare; *3* — presă; *4* — ştift de fixare; *5* — placă.

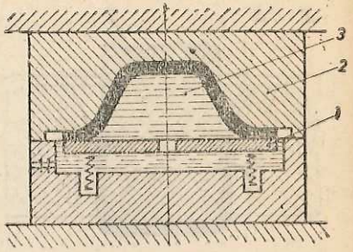


Fig. 37.60. Ambutisarea hidraulică: *1* — placă de fixare; *2* — placă de ambutisat; *3* — lichid sub presiune.

de ambutisare la rece, atunci se aplică recoaceri intermediare pentru a se înlătura efectul ecruisării.

Pentru reducerea frecării de contact dintre suprafeţele piesei, ale matriţei şi ale inelului de stingere, se folosesc lubrifianţi, ca: ulei mineral, ulei cu pulbere de grafit, emulsii de săpun etc.

Pentru deformarea tablelor subţiri din aliaje de aluminiu sau din magneziu şi a tablelor din oţel inoxidabil, se aplică ambutisarea cu cauciuc (fig. 37.59) sau ambutisarea hidraulică (fig. 37.60).

5. Aplicaţii

1. Se laminează un semifabricat cu următoarele dimensiuni: $h_1 = 200$ mm; $b_1 = 250$ mm; după laminare: $h_2 = 150$ mm şi $b_2 = 262$ mm. Se laminează cu cilindri $D = 700$ mm. Să se calculeze coeficientul de alungire şi unghiul de prindere

$$\lambda = \frac{h_1 b_1}{h_2 b_2} = \frac{200 \cdot 250}{150 \cdot 262} = 1{,}2725$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D} = 1 - \frac{200 - 150}{700} = 1{,}0 - 0{,}0715 = 0{,}9285.$$

Deci: $\alpha = 21°47'$.

2. Se laminează un oţel carbon cu dimensiunile iniţiale $h_1 = 120$ mm şi $b_1 = 150$ mm; după prima trecere: $h_2 = 90$ mm şi $b_2 = 160$ mm. Să se determine lungimea de contact în focarul de deformare şi presiunea asupra cilindrilor cunoscîndu-se că presiunea specifică $\bar{p}_m = 170$ MN/m². Diametrul cilindrilor $D = 600$ mm.

$$l_c = \sqrt{R(h_1 - h_2)} = \sqrt{300(120 - 90)} = 95 \text{ mm}$$

$$P = p_m l_c \frac{b_1 + b_2}{2} = 170 \cdot 0{,}095 \frac{0{,}150 + 0{,}140}{2} = 2{,}5 \text{ MN}.$$

3. Să se calculeze forţa necesară extrudării unei piese din oţel cu următoarele dimensiuni: $d_0 = 10$ mm; $h_0 = 30$ mm şi suprafaţa secţiunii $S_0 = 77{,}5$ mm²; înălţimea după extrudare $h_1 = 15$ mm.

— Gradul de extrudare logaritmic:

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{h_1}{h_0} = \frac{15}{30} = \ln 0{,}5 = 0{,}693.$$

— Rezistenţa la deformare $\sigma_d = 60$ daN/mm² pentru $\varepsilon_1 = 0{,}693$.

— Forţa de extrudare:

$$P = \sigma_d \cdot S_0 = 60 \cdot 77{,}5 = 4\,650 \text{ daN}.$$

4. Să se calculeze presiunea specifică la extrudarea indirectă a unei piese din oţel carbon; dimensiunile materialului iniţial $d_0 = 40$ mm; $h_0 = 22{,}2$ mm; diametrul $d_1 = 30$ mm; diametrul interior = 28 mm; grosimea fundului $h_1 = 6$ mm; înălţimea piesei extrudate $h = 38$ mm; grosimea peretelui $s = 6$ mm.

— Gradul de deformare ε_1:

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{h_1}{h_0} = \ln \frac{6}{22{,}2} = 1{,}31.$$

— Rezistenţa la deformare pentru ε_1 este $\sigma_{d1} = 70$ daN/mm².

— Presiunea specifică $\bar{p}_{m1}$ este:

$$p_{m1} = \bar{p}_m \left(1 + \frac{1}{3} \mu \frac{d}{h}\right) = 70 \left(1 + \frac{1}{3} 0{,}1 \frac{28}{22{,}2}\right) = 73 \text{ daN/mm}^2.$$

— Gradul de deformare ε_2:

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{h_0}{h_1}\left(1 + \frac{d}{8 \cdot s}\right) = \ln \frac{22{,}2}{6}\left(1 + \frac{28}{8 \cdot 4}\right) = \ln 5{,}86; \quad \varepsilon_2 = 1{,}77.$$

— Rezistenţa la deformare pentru ε_2 este $\sigma_{d2} = 76$ daN/mm².

Presiunea specifică $\bar{p}_{m2}$ este:

$$p_{m2} = 76\left[1 + \frac{22{,}2}{6}\left(0{,}25 + \frac{0{,}1}{2}\right)\right] = 161 \text{ daN/mm}^2.$$

Capitolul 38

TEHNOLOGIA TRATAMENTELOR TERMICE ŞI TERMOCHIMICE

A. TRATAMENTE TERMICE

1. Clasificarea tratamentelor termice

Tratamentele termice se pot clasifica după mai multe criterii. Astfel, după scopul urmărit şi locul pe care îl ocupă în procesul de fabricaţie, se deosebesc:

— tratamente termice preliminare (primare sau intermediare) în care se includ diferite tipuri de recoaceri. Aceste tratamente se aplică lingourilor, pieselor turnate, pieselor forjate, ansamblurilor sudate, laminatelor etc.;

— tratamente termice finale sau secundare care cuprind operaţiile de călire şi de revenire. Se aplică diferitelor piese după prelucrări mecanice.

2. Recoacerea oţelurilor

Recoacerea este tratamentul termic care constă din încălzirea produselor la temperaturi ridicate (care pot fi inferioare, superioare sau în intervalul de transformări în stare solidă), menţinerea prelungită la această temperatură (sau la temperatură oscilantă într-un interval determinat), urmată de o răcire suficient de lentă pentru realizarea unui anumit echilibru fizico-chimic şi structural. Recoacerea se aplică fie pentru a corecta unele defecte provenite de la prelucrări anterioare (turnare, deformare plastică), fie pentru a pregăti semifabricatele pentru prelucrări ulterioare, fie pentru a îndeplini ambele roluri simultan. În funcţie de scopul urmărit recoacerea poate fi de: omogenizare, regenerare, recristalizare, înmuiere, detensionare, izotermă, de normalizare.

a. **Recoacerea de omogenizare a produselor turnate.** Structura pieselor turnate din materiale metalice se caracterizează printr-o puternică neomogenitate chimică (segregaţie), care se datoreşte faptului că răcirea are loc cu viteză mare iar procesele de difuziune nu au timp să se producă. În produsele turnate din oţel (lingouri şi piese) poate apărea segregaţia dendritică şi zonală.

În cazul lingourilor, segregaţia dendritică se manifestă prin reducerea capacităţii de deformare plastică la cald, printr-o sensibilitate mai mare la ruperea intercristalină şi prin accentuarea anizotropiei proprietăţilor semifabricatelor deformate la cald cum şi a tendinţei de apariţia fulgilor. În piesele turnate, datorită segregaţiei dendritice, se micşorează alungirea relativă, gîtuirea şi reziliența.

Atenuarea segregaţiei dendritice la lingouri din oţeluri aliate se poate obţine printr-o încălzire la temperaturi ridicate (1050—1250°C) cu menţinere îndelungată la această temperatură (10—20 h). Atît încălzirea cît şi răcirea se fac lent, ceea ce măreşte substanţial întregul ciclu, dacă se are în vedere că numai încălzirea la temperatura de recoacere durează 30—40 h.

Recoacerea de omogenizare se aplică cu precădere produselor turnate masive (lingouri şi piese) din oţeluri complex aliate (CrNiMo, CrMnSi, CrMnMo) şi oţelurilor carbon cu conţinutul de sulf ridicat (0,08—0,20% S) pentru a reduce fragilitatea la roşu în timpul laminării la cald.

În figura 38.1 se indică temperaturile de încălzire pentru diferite tipuri de recoacere.

b. **Recoacerea de regenerare.** Acest tratament termic se aplică aliajelor care prezintă transformări în stare solidă (polimorfe, eutectoide sau peritectoide) în măsură să producă recristalizări de fază parţială sau totală. Ca urmare a acestor transformări, la prelucrarea prin deformare plastică la cald pot apărea modificări structurale (creşterea granulaţiei secundare, formarea unor constituenţi structurali în afară de echilibru etc.) care pot fi neconvenabile prelucrărilor ulterioare sau folosirii produselor respective în exploatare.

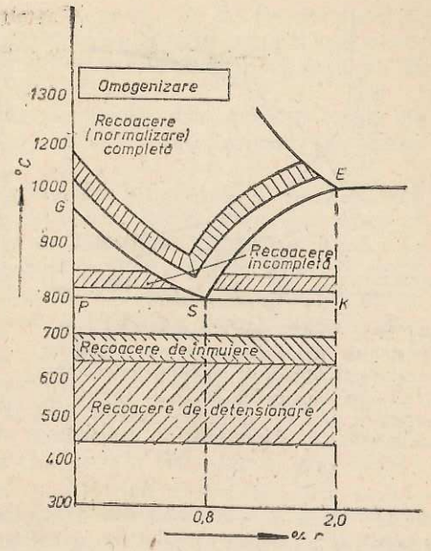


Fig. 38.1. Temperaturile de încălzire pentru diferite tipuri de recoacere.

În piesele turnate, granulaţia grosolană provine direct din solidificare, iar la oţelurile cu conţinut scăzut de carbon se observă grăunţi mari de ferită.

Recoacerea de regenerare sau *completă* constă în încălzirea oţelurilor la temperaturi cu 30—50°C deasupra punctului Ac_3 şi menţinerea de scurtă durată. Răcirea se efectuează în cuptor astfel încît să se asigure o viteză de răcire de 50—100°C/h în intervalul critic $Ar_3—Ar_1$ sau pînă la temperatura de circa 600°C, răcirea mai departe pînă la temperatura ambiantă se face în aer liber.

Pentru a se evita apariţia tensiunilor termice, răcirea dirijată se continuă cu răcirea liberă în cuptoare pînă la circa 400°C şi apoi în aer.

c. **Recoacerea de normalizare.** Normalizarea este tratamentul termic care constă din încălzirea oţelurilor pentru austenitizare la temperaturi care depăşesc punctul critic Ac_3 cu 50—70°C în cazul oţelurilor hipoeutectoide sau Ac_{cem} în cazul oţelurilor hipereutectoide urmată de răcire directă în aer liniştit sau ventilat.

La răcirea în aer liniştit, subrăcirea oţelurilor carbon este mică, încît descompunerea austenitei în treapta perlitică decurge complet pînă la sfîrşit. Ca urmare, oţelurile hipoeutectoide prezintă după normalizare o structură ferito-perlitică, iar oţelurile eutectoide şi cele hipereutectoide o structură de perlită sorbitică.

Normalizarea oţelurilor se aplică pe scară largă în industrie atît ca tratament termic intermediar sau în combinaţie cu alte prelucrări sau tratamente termice cît şi tratament termic final.

Prin normalizare se îmbunătăţesc în mod simţitor caracteristicile mecanice ale oţelului, cum sînt: limita de curgere, rezistenţa de rupere la tracţiune, alungirea relativă, gîtuirea şi reziliența.

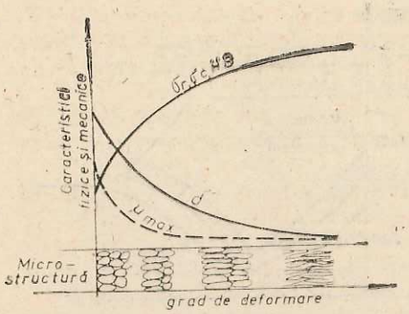


Fig. 38.2. Modificarea structurii și a caracteristicilor fizico-mecanice ale metalelor ecruisate în funcție de gradul de deformare: σ_c — rezistența la rupere; σ_r — limita de curgere; HB — duritatea Brinell; δ — alungirea; μ — permeabilitatea magnetică.

În comparație cu recoacerea, normalizarea prezintă unele diferențe, atît în ceea ce privește structura cît și caracteristicile mecanice. Acest lucru este determinat de faptul că la normalizare, cantitatea de perlită care se separă la răcire este mai mare decît la recoacere. Întrucît duritatea perlitei este mai mare decît a feritei, rezultă că oțelul normalizat va avea duritatea mai mare decît cel recopt.

De menționat și faptul că tratamentul termic de normalizare este mai ieftin decît cel de recoacere, deoarece are un ciclu mai scurt și se execută mai ușor.

Controlul calității tratamentelor termice de recoacere sau normalizare se face prin verificarea durității ce trebuie să corespundă indicațiilor din STAS. Dacă normalizarea este tratamentul termic final, atunci se mai efectuează și controlul microstructurii și al proprietăților mecanice prevăzute în normele tehnice.

d. **Recoacerea de recristalizare.** Prin deformare plastică la temperaturi inferioare temperaturii de recristalizare a materialului metalic considerat, acesta trece într-o stare în afară de echilibrul structural și fizico-mecanic numită ecruisare.

Prin recoacerea de recristalizare se urmărește eliminarea parțială sau totală a stării ecruisate a materialului, formarea unor grăunți noi nedeformați și obținerea plasticității și tenacității inițiale (fig. 38.2). Concomitent se restabilesc și unele proprietăți fizice dependente de gradul de tensionare al rețelei cristaline din interiorul blocurilor (de exemplu, rezistivitatea electrică).

Încălzirea la temperaturi mai ridicate determină o creștere a mobilității atomilor, a difuziunii și permite refacerea structurii. Formarea de noi generații de grăunți poliedri se numește *recristalizare*.

Temperatura la care începe recristalizarea este caracteristică fiecărui material metalic în parte, putînd fi determinată cu relația:

$$T_{rec} = \alpha T_{to} \ [°C], \qquad (38.1)$$

unde α este un coeficient de proporționalitate cuprins între 0,35 și 0,60.

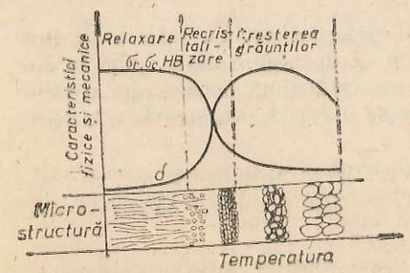


Fig. 38.3. Modificarea structurii și a caracteristicilor mecanice ale metalelor în funcție de temperatura de încălzire.

Modificarea structurii datorită recristalizării este însoțită și de modificarea corespunzătoare a caracteristicilor mecanice și fizice cu evoluția spre starea de echilibru (fig. 38.3). Sînt și unele metale și aliaje care se abat de la această regulă cum ar fi: bronzurile cu aluminiu și alamele, care se durifică în cursul relaxării.

Temperatura de recristalizare depinde și de gradul de deformare plastică. Cu cît acest grad este mai mare cu atît fărîmițarea grăunților va fi mai mare, instabilitate sporită a stării de ecruisare și deci recristalizarea va avea loc la temperaturi mai scăzute.

Recoacerea de recristalizare se aplică produselor din oțel sub formă de table, benzi, țevi, bare și sîrme trase sau trefilate la rece, precum și pieselor ambutisate și matrițate la rece.

Temperatura de recristalizare a oțelurilor este influențată în mare măsură de conținutul de carbon și de elemente de aliere. Astfel, oțelurile carbon și slab aliate recristalizează la temperaturi de 400—500°C, oțelurile feritice la 550—650°C iar cele austenitice la 700—800°C. În cazul oțelurilor cu grade de deformare neuniforme (sub 20%), recoacerea de recristalizare va fi precedată de o normalizare la 900—950°C pentru obținerea unei granulații feritice fine.

e. **Recoacerea de detensionare.** Recoaceea de detensionare constă din încălzirea oțelului cu viteză mică pînă la temperaturi de 500—575°C, menținerea un timp de 0,5—5 h, în funcție de material și de prelucrare anterioară, urmată de răcirea cu viteze mici 20—40°C/h pînă la 100—150°C, apoi răcirea în aer liniștit.

Acest tip de recoacere se produce fără transformări fazice, obținîndu-se numai reducerea tensiunilor și îmbunătățirea structurii inițiale. Se supun detensionării produsele din oțel după turnare, sudare, deformare plastică la rece, călire și prelucrări prin așchiere.

Detensionarea înainte și între operațiile de prelucrare prin așchiere aplicate unor piese ca blocuri de motor, cămăși de cilindru, arbori cotiți, roți dințate etc. are ca scop să evite deformările datorită tensiunilor provocate prin schimbarea formei la îndepărtarea materialului sub formă de așchii.

f. **Recoacerea de globulizare.** Recoacerea de globulizare este o recoacere incompletă și se aplică oțelurilor eutectoide și hipereutectoide pentru obținerea unei perlite globulare. Operația constă din încălzirea oțelului la temperaturi cu atît mai apropiate de Ac_1 cu cît oțelul are mai puțin carbon, menținerea la această temperatură cîteva ore, funcție de compoziția chimică și de dimensiunile piesei urmată de o răcire care se face dirijat cu 20—25°C/h la oțelurile nealiate și cu 10—15°C/h în cazul oțelurilor aliate: răcirea dirijată se face pînă la 600—650°C, după care se răcește liber cu cuptorul.

Recoacerea de globulizare se aplică cu scopul de a micșora duritatea pieselor în vederea prelucrării ușoare prin așchiere sau prin deformare plastică la rece, cum și obținerea unei anumite structuri, în vederea tratamentelor tehnice ulterioare.

Pentru a se obține o scurtare a duratei de menținere, recoacerea de globulizare se poate efectua și prin pendulare (fig. 38.4) cu încălziri și răciri alternative în jurul punctului A_1 sau prin încălzire deasupra punctului Ac_1 urmată fie de o răcire foarte lentă în cuptor, fie de o menținere izotermă la o temperatură puțin inferioară punctului Ac_1.

Recoacerea de globulizare se aplică și unor oțeluri pentru construcții aliate cu crom-molibden, crom-nichel, crom-nichel-wolfram, oțelurilor de scule, inoxidabile, anticorosive și oțelurilor rapide. După laminare sau forjare aceste oțeluri ating durități de 300—600 HB, din care cauză se prelucrează foarte greu prin așchiere. Prin aplicarea unui tratament termic de recoacere incompletă sau de normalizare se îmbunătățesc în mod simțitor caracteristicile de prelucrabilitate prin așchiere a oțelurilor din aceste grupe.

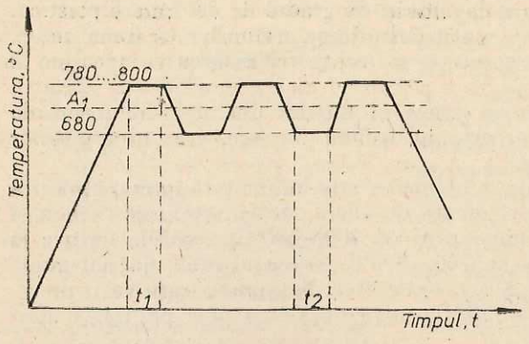


Fig. 38.4. Diagrama recoacerii de globulizare prin pendulare.

g. Recoacerea izotermă. Recoacerea izotermă este tratamentul termic care constă dintr-o încălzire de austentizare, urmată de o răcire relativ rapidă pînă la temperatura situată în intervalul perlitic, menținerea mai îndelungată la această temperatură pentru transformarea completă a perlitei, urmată de răcirea în aer pînă la temperatura ambiantă.

Prin recoacere izotermă se obțin structuri cu un anumit grad de finețe la oțeluri nealiate și slab aliate pentru construcții precum și pentru scule cu conținutul mediu și ridicat de carbon.

Recoacerea izotermă se aplică cu avantaje economice și tehnice în continuarea prelucrării prin deformare plastică la cald (laminare, forjare) în mod deosebit oțelurilor susceptibile de formarea fulgilor.

Răcirea semifabricatelor imediat după laminare sau forjare pînă la o temperatură cuprinsă în intervalul matematic determină apariția fulgilor. Pericolul formării fulgilor nu se înlătură complet nici prin efectuarea răcirii în gropi cu nisip sau cu cenușă.

Prin aplicarea recoacerii izoterme care constă în răcirea semifabricatelor după anumite cicluri, stabilite experimental funcție de compoziția chimică a oțelurilor și dimensiunile pieselor, se evită apariția fulgilor și totodată se obține o structură adecvată prelucrării ulterioare (fig. 38.5).

3. Călirea și revenirea oțelurilor

a. **Călirea.** 1) În general se supun *tratamentului termic de călire* oțelurile carbon și aliate cu conținut de carbon mai mare de 0,15—0,20% cu scopul obținerii unei structuri martensitice. Se exceptează oțelurile austenitice care se supun călirii pentru punere în soluție și cele feritice necălibile, precum și oțelurile călite izoterm pentru bainită.

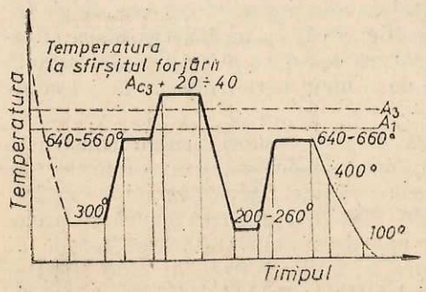


Fig. 38.5. Diagrama recoacerii izoterme.

Martensita obținută la călire reprezintă o structură în afară de echilibru dar este foarte stabilă chiar și la temperatura ambiantă. De aceea, pentru a se obține o structură mai apropiată de starea de echilibru sînt necesare acțiuni exterioare cum sînt: deformarea plastică, încălzirea materialelor călite etc., care permit obținerea unei stări numită de revenire.

Prin obținerea structurii martensitice se urmărește fie asigurarea unei durități mari în special în stratul superficial al produselor tratate, fie asigurarea după aplicarea tratamentului ulterior de revenire, a unei structuri cu tenacitate ridicată și duritate moderată. Caracteristicile mecanice ale produselor călite și revenite sînt superioare celor obținute prin recoacere sau normalizare, tratamente termice care permit obținerea unor durități apropiate.

Prin călire se poate obține o structură martensitică pe o adîncime mare sau chiar în toată secțiunea produsului (călirea volumică) sau numai în straturile superficiale pe o anumită adîncime (călire superficială).

Oțelurile carbon de îmbunătățire se supun călirii cu austenitizare completă. În acest scop, temperatura de încălzire pentru călire este situată cu 30—50°C peste punctul Ac_3, temperaturile minime fiind caracteristice pieselor cu pereți subțiri și loturi mici, iar cele superioare pentru piese groase și loturi mari. Durata de menținere este de 1—2 min/mm grosime de material, funcție de modul de așezare a pieselor în cuptor.

2) Obținerea unei structuri de călire corespunzătoare depinde de *parametrii tehnologici* ai tratamentului termic (viteza, temperatura, durata încălzirii, viteza și durata de răcire) cît și de *condițiile de lucru* (medii de încălzire și de răcire, procedee aplicate).

a) *Viteza de încălzire* se alege în funcție de conductivitatea termică, de dimensiunile și forma piesei și de structura inițială.

Mărimea vitezei de încălzire se poate determina cu ajutorul unor relații; se recomandă însă ca pentru fiecare oțel să se determine, prin încercări practice, valoarea optimă a vitezei de încălzire.

b) *Temperatura de încălzire* se determină în funcție de: compoziția chimică a materialului, condițiile de răcire, forma și dimensiunile produselor.

În cazul oțelurilor carbon, temperatura optimă de încălzire se determină cu ajutorul diagramei fier-carbon, porțiunea hașurată din figura 38.6. La oțeluri hipoeutectoide, temperatura de încălzire pentru călire este de 30—50°C deasupra punctului Ac_3, iar pentru oțelurile eutectoide și hipereutectoide cu 20—40°C deasupra punctului Ac_1.

Pentru oțelurile aliate și înalt aliate, temperatura de încălzire se stabilește fie în raport de valoarea temperaturii punctelor Ac_1 și A_{cem}, fie prin încercări de călire pe epruvete.

c) *Durata de menținere* la temperatura de încălzire trebuie să asigure uniformizarea temperaturii în secțiunea piesei.

În practică, durata de menținere entru egalizarea temperaturii produsului se adoptă între 1/4 și 1/5 din durata încălzirii pînă la temperatura prescrisă.

Pentru oțelurile aliate cu elemente care formează carburi (Cr, Mo, Ti, V, W), durata de egalizare se prelungește cu 30% în raport cu cea pentru oțelurile carbon, pentru a se obține dizolvarea totală a carburilor.

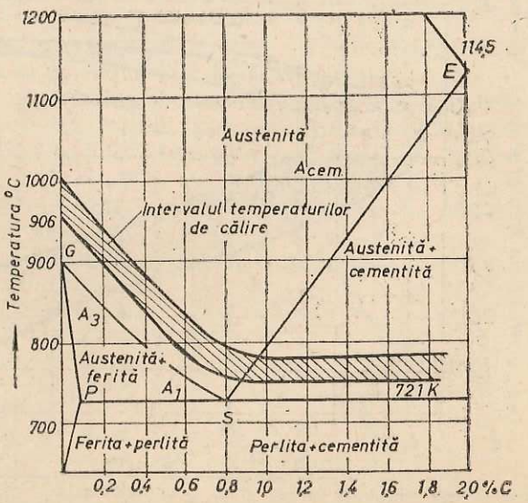


Fig. 38.6. Domeniile temperaturilor de călire în cazul oțelurilor carbon.

d) *Viteza de răcire* în anumite intervale de temperaturi și durate de menținere în unul sau mai multe medii de răcire se determină în funcție de viteza critică de călire a oțelului și de adîncimea de pătrundere a călirii. De asemenea, se ține seama de proprietățile termoplastice ale oțelului, de forma și dimensiunile pieselor călite.

3) Oțelurile au o comportare diferită la călire, în funcție de compoziția chimică și de mărimea grăuntelui de austenită. Fiecare marcă de oțel este caracterizată printr-o *călibilitate* proprie.

Călibilitatea este una din cele mai importante caracteristici tehnologice a oțelurilor, care furnizează date privind comportarea acestora la tratamentul termic. Se consideră zona călită porțiunea care prezintă o duritate ce depășește duritatea semimartensitică, adică media între duritatea martensitei și a troostitei. De aceea, călibilitatea este definită ca fiind grosimea unui strat cu o structură semimartensitică sau avînd valoarea durității mai mari decît a semimartensitei.

Pentru aprecierea călibilității se folosește frecvent criteriul vitezei critice de călire, care se determină cu ajutorul diagramelor *TTT* (fig. 38.7) a oțelului studiat. De asemenea, se mai folosește la determinarea călibilității și noțiunea de diametru critic ideal sau real care se poate stabili experimental sau prin calcul.

Călibilitatea constituie un indiciu asupra naturii și repartiției constituenților structurali obținuți după călire, asupra caracteristicilor mecanice precum și a repartiției cîmpului de tensiuni și posibilităților de apariție a fisurilor.

Cunoscîndu-se indicii de călibilitate se pot aprecia caracteristicile mecanice care se vor obține după tratamentul termic aplicat pieselor de o anumită formă, pe baza probelor de călibilitate din același oțel. În plus, se poate stabili o legitate a răcirii asupra transformărilor structurale din interiorul piesei.

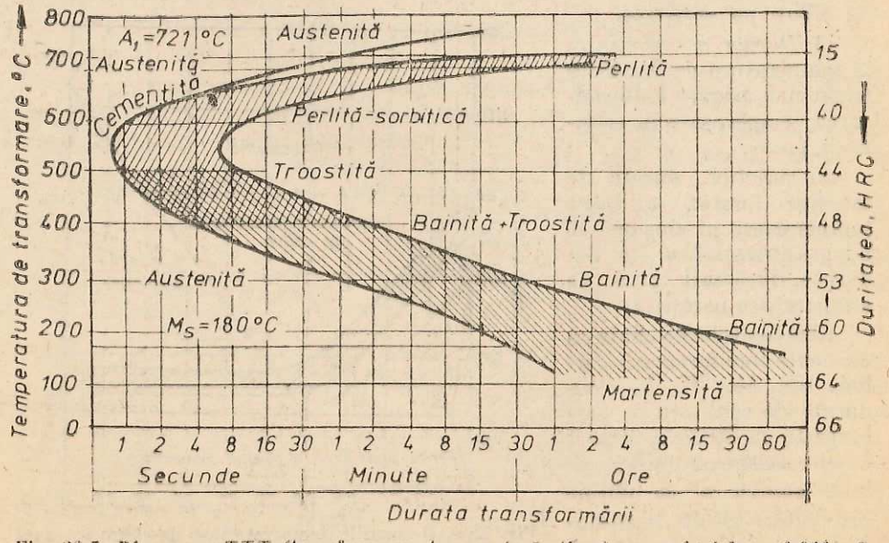


Fig. 38.7. Diagrama *TTT* (transformare, temperatură, timp) a unui oțel cu 0,98% C.

Călibilitatea este influențată într-o mare măsură de compoziția chimică a oțelului. Astfel, oțelurile cu conținutul ridicat de carbon se călesc pe o adîncime mare datorită creșterii stabilității austenitei. De asemenea, adîncimea de călire crește simțitor la oțelurile aliate cu nichel, crom, mangan etc. Printre alți factori care mai influențează călibilitatea se menționează că grăunții mari de austenite măresc adîncimea de călire în timp ce incluziunile nemetalice micșorează.

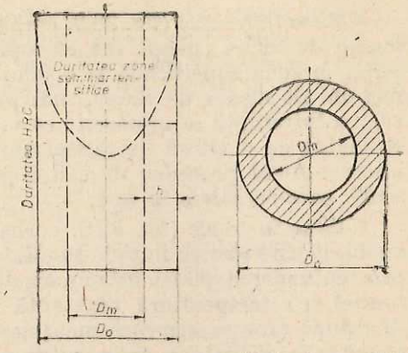


Fig. 38.8. Variația durității în probele călite.

Pentru determinarea experimentală a călibilității unui oțel, se supune călirii o bară de un anumit diametru D și o lungime L. $L = (4...6)\ D$, din care apoi se taie un disc pe care se măsoară duritatea. Pe baza datelor obținute din măsurări se trasează curba variației durității (fig. 38.8). În acest caz călibilitatea se determină fie prin valoarea h, fie prin raportul D_m/D_0, specificîndu-se diametrul barei precum și condițiile de răcire.

4) *Mediul de răcire:* influența mediului de răcire depinde de compoziția sa chimică, care poate fi apă, soluții apoase de săruri sau de acizi, uleiuri vegetale sau minerale, săruri sau metale topite etc.; de temperatura sa — prin încălzirea mediului de răcire se mărește durata de răcire; de proprietățile sale fizice, care au o influență importantă asupra călirii, cum sînt capacitatea de răcire în diferite zone de temperatură sau de conductibilitatea termică. Unele medii de răcire produc răciri rapide la temperaturi înalte, iar la temperaturi joase au o acțiune contrară (uleiurile), iar altele se caracterizează prin răcire rapidă atît la temperaturi înalte cît și la temperaturi joase (apă și soluțiile apoase); atît apa cît și uleiurile nu oferă condiții optime de răcire; de aceea, se folosește călirea întreruptă. Astfel, oțelurile carbon și oțelurile slab aliate se răcesc rapid în apă în intervalul perlito-troostitic, apoi se răcesc mai lent în ulei în intervalul martensitic. Oțelurile aliate se călesc în ulei pînă la temperatura de 100—150°C și după aceea în aer.

Pentru ca transmiterea căldurii de la piesă la mediul de răcire să fie mai intensă, se agită piesa sau mediul de răcire, uneori amîndouă, pentru a se înlătura stratul izolator de vapori format la introducerea piesei calde în apă sau în ulei.

5) *Procedee de călire. Călirea obișnuită* (călire cu răcire într-un singur mediu) (fig. 38.9 curba *1*) este cel mai simplu procedeu de călire și constă din răcirea pieselor încălzite la temperatura de călire, într-un mediu de răcire (apă, ulei, aer) pînă la temperatura obișnuită.

Acest procedeu se aplică pieselor cu forme simple, fără variații mari de secțiune, executate atît din oțel carbon și din oțel aliat.

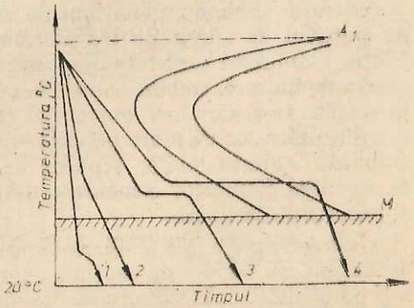


Fig. 38.9. Curbe de răcire pentru diferite metode de călire.

Călirea întreruptă (fig. 38.9, curba 2) constă în răcirea pieselor întîi într-un mediu de răcire energic (de exemplu, în apă) pînă cînd piesa a ajuns cel puţin în zona superficială la o temperatură în jurul punctului M_s, iar apoi, într-un alt mediu de răcire, mai puţin energic (de exemplu, în ulei). Prin călirea întreruptă se urmăreşte ca intervalul transformării martensitice să fie străbătut cu o viteză de răcire mai mică, în vederea diminuării tensiunilor interne. Acest procedeu de călire este indicat în special la oţelurile pentru scule, care se călesc în apă.

Călirea în trepte (fig. 38.9, curba 3) este tot o călire cu răcire în două medii, la care răcirea iniţială se efectuează cu o viteză superioară celei critice, prin cufundarea piesei într-un mediu cald (băi de săruri sau de metale topite), cu temperatura constantă puţin superioară punctului martensitic M_s; după aceasta urmează menţinerea la temperatura mediului cald (prima treaptă de răcire) un timp suficient pentru uniformizarea temperaturii în secţiunea piesei, dar mai scurt decît cel necesar pentru începerea transformării izoterme a austenitei, după care se face răcirea într-un al doilea mediu (ulei, aer) pînă la temperatura obişnuită.

Prin aplicarea acestui procedeu de răcire, oţelul rămîne cu structura austenitică netransformată în primul mediu de răcire (mediul cald), transformarea la martensită (călirea) producîndu-se în cel de-al doilea mediu de răcire. În acest fel, tensiunile care apar sînt mici, evitîndu-se astfel rebuturile datorite crăpăturilor de călire. Acest procedeu se aplică acolo unde există pericolul de deformare şi crăpare, în special la oţelurile pentru scule şi bogat aliate, precum şi la piese cu variaţii mari de secţiuni.

Călirea izotermă (fig. 38.9, curba 4) este o călire cu viteză de răcire mai mare decît cea critică, într-un mediu cu temperatura constantă (mediul cald), superioară punctului M_s.

Piesa se menţine la această temperatură pînă la transformarea completă a austenitei, apoi se răceşte pînă la temperatura obişnuită, cu o viteză care depinde de dimensiunile piesei.

Mediul cald îl constituie de obicei băile de săruri avînd temperatura cuprinsă între 450°C şi temperatura punctului M_s, pentru ca la descompunerea izotermă a austenitei să se obţină *bainita*.

Prin călire izotermă se evită în mare măsură tensiunile termice şi structurale şi nu mai este necesară operaţia de revenire.

Călirea izotermă se aplică atît oţelurilor de construcţie cît şi oţelurilor pentru scule. În ultima vreme se aplică şi fontelor, ceea ce duce la mărirea rezistenţei şi a tenacităţii acestora.

Oţelurile carbon cu conţinut de carbon peste 0,6% şi unele oţeluri aliate au punctul de sfîrşit de transformare martensitică sub 0°C şi după călire conţin o anumită cantitate de *austenită reziduală;* de aceea, înainte de prelucrarea de finisare, trebuie supuse la o răcire la temperaturi joase, circa —60°C, în scopul transformării austenitei reziduale în martensită. Acest tratament se aplică pieselor de mare precizie şi aparatelor de măsurat, pentru obţinerea stabilizării dimensiunilor sculelor de oţel rapid, pentru mărirea capacităţii de aşchiere a pieselor cementate din oţeluri aliate, pentru mărirea durităţii şi rezistenţei la uzură.

Călirea superficială. Călirea superficială se aplică la numeroase elemente de maşini sau organe de maşini, cum sînt: arbori de manivelă, roţi dinţate, roţi cu came etc. Aceste organe de maşini trebuie să fie dure numai la suprafaţă, pentru a rezista la uzură, în timp ce miezul trebuie să fie tenace, pentru a rezista la şocuri.

Procedeul de călire superficială constă din încălzirea piesei la temperatura de călire numai la suprafaţă, menţinînd miezul la o temperatură mai joasă. La răcirea ulterioară se va căli numai suprafaţa, în timp ce miezul rămîne în starea sa anterioară (normalizată). După modul de încălzire a piesei, se deosebesc:

— călirea prin curenţi de inducţie de înaltă frecvenţă;

— călirea electrică prin contact.

Răcirea rapidă ulterioară se realizează de cele mai multe ori cu ajutorul unui duş de apă rece.

Călirea prin inducţie. Călirea prin curenţi de înaltă frecvenţă se aplică unor organe de maşini ca: arbori cotiţi, cămăşi de cilindri, roţi dinţate, boltţuri, precum şi altor piese.

Principiul acestei metode se bazează pe curenţi induşi şi pe efectul pelicular şi constă în faptul că, la trecerea unui curent de înaltă frecvenţă printr-un inductor, în interiorul spirelor acestuia se creează un cîmp electromagnetic. Dacă în acest cîmp electromagnetic se introduce o piesă metalică, în piesă apar o tensiune electromotoare şi un curent de aceeaşi frecvenţă, dar de sens contrar. Cu cît frecvenţa curentului este mai mare, cu atît curentul va străbate numai straturile superficiale ale piesei, determinînd astfel încălzirea acestora la temperaturi superioare punctelor de transformare.

Prin răcirea piesei încălzite, se obţine un strat superficial dur, călit (datorită încălzirii piesei doar la suprafaţă), în timp ce miezul va păstra structura sa iniţială. Răcirea suprafeţei încălzite se produce fie cu un jet de apă, fie în aer.

Temperatura de încălzire a stratului superficial este superioară punctului de transformare Ac_3 cu 100—150°C, deci mai înaltă decît cea de la călirea obişnuită ($Ac_3 + 30 - 50$°C). Cu toate acestea, nu se produce o creştere a grăuntelui, datorită vitezei mari de încălzire şi timpului scurt de menţinere la temperatura de călire.

Călirea electrică prin contact constă din încălzirea superficială a piesei prin rezistenţa de contact dintre piesă şi electrod (fig. 38.10) Piesa execută o mişcare de rotaţie fiind în legătură cu circuitul secundar al unui transfomator de curent electric: $U = 2...4$ V; $I = 500...$ 15 000 A. Prin trecerea curentului de la un electrod la piesă, pe suprafaţa de contact apare o densitate mare de curent datorită efectului Joule-Lenz care determină straturile de suprafaţă într-un timp scurt.

Răcirea pentru călire la piesele mici se efectuează în medii de răcire lichide,

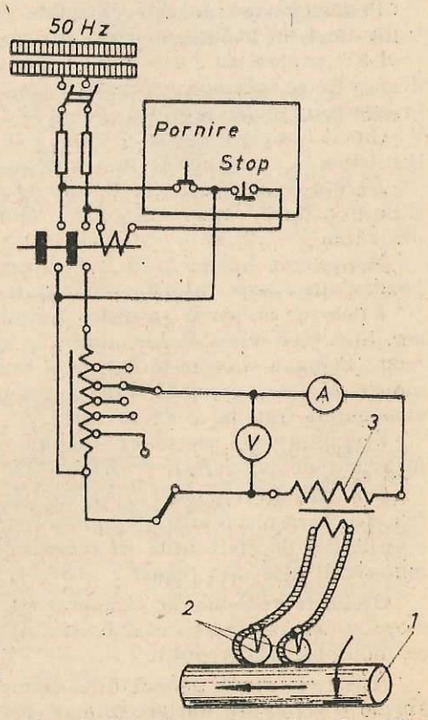


Fig. 38.10. Schema instalaţiei de călire superficială prin contact:
1 — piesă călită; *2* — role; *3* — secundarul transformatorului.

iar la cele mari, răcirea se realizează prin însăşi masa metalică a piesei care la încălzire rămîne rece şi la întreruperea curentului devine mediu de răcire pentru straturile superficiale încălzite.

Acest procedeu de călire se caracterizează printr-o trecere treptată de la zona călită la cea necălită.

b. **Revenirea.** Piesele din oţel călit sînt foarte fragile, au uneori o duritate mai mare decît este necesar şi prezintă tensiuni interne pronunţate. Piesele din oţel nu se pot întrebuinţa în stare călită, ci se supun unui tratament termic ulterior, numit *revenire*. Revenirea are ca scop mărirea *tenacităţii*, *micşorarea durităţii* şi *îndepărtarea tensiunilor interne*, adică trecerea oţelului călit într-o stare mai stabilă, mai apropiată de echilibru.

În mod practic, tratamentul de revenire se realizează prin încălzirea oţelului călit la temperaturi inferioare punctului de transformare Ac_1, urmată de o răcire în aer sau în ulei. Prin revenire se obţin constituenţi cu proprietăţi noi: martensita de revenire, troostita de revenire, sorbita.

Procesul de revenire este influenţat de următorii factori:

Temperatura de încălzire este factorul principal care influenţează proprietăţile oţelului revenit, proprietăţi determinate de natura constituenţilor structurali.

Prin încălzirea oţelului călit pînă la 300°C se obţine o structură constituită din *martensită de revenire*, provenită fie prin transformarea martensitei de călire, fie prin transformarea austenitei reziduale.

Prin încălzirea oţelului călit între 300 şi 400°C, se obţine o structură constituită din troostită de revenire, în care cementita este foarte dispersată.

La temperaturi între 400 şi 700°C, particulele de cementită foarte fin dispersate se măresc ca urmare a creşterii temperaturii şi se formează *sorbită în intervalul de temperatură 500—650°C* sau *perlita globulară între 600 şi 700°*.

Cu cît temperatura de revenire este mai înaltă, cu atît se obţin mai repede constituenţi cu structuri mai apropiate de starea de echilibru.

Durata de menţinere, ca şi temperatura de încălzire, are o influenţă hotărîtoare asupra caracteristicilor oţelului, deoarece favorizează procesul de difuziune.

Menţinerea îndelungată la temperatura de revenire influenţează în mod pozitiv, în special asupra tenacităţii.

Viteza de răcire la revenire. Majoritatea pieselor se răcesc la revenire în aer. Sînt însă unele oţeluri aliate, în special oţelurile de construcţie aliate cu crom, mangan şi crom-nichel, care trebuie răcite în ulei, deoarece la o răcire mai lentă (aer) prezintă după revenire o rezilienţă scăzută. Acest fenomen este numit fragilitate de revenire.

Fragilitatea de revenire a oţelului apare la răcirea pieselor cu viteză redusă în zonele de temperaturi de 230—300°C şi 500—600°C.

Procedee de revenire. Revenirea joasă constă în încălzirea unui oţel călit (cu structură martensitică) pînă la temperatura de 180—250°C, cînd se obţine o structură de martensită de revenire, al cărei aspect iniţial se menţine, însă materialul este mai tenace.

Oţelurile revenite la temperatură joasă se caracterizează prin duritate mare şi tenacitate scăzută. Celelalte caracteristici de bază ale oţelului călit se modifică foarte puţin.

Revenirea medie constă în încălzirea piesei călite la 250—450°C, cînd se obţine o structură de troostită de revenire. Prin această revenire se obţine o micşorare a durităţii.

Revenirea înaltă constă în încălzirea oţelului călit la temperaturi care nu trebuie să depăşească 650°C, obţinîndu-se sorbita. Caracteristicile mecanice

ale unui astfel de aliaj, cum sînt rezistenţa la rupere, limita de curgere şi tenacitatea, au valori ridicate.

Rezilienţa prezintă valori maxime la temperatura de revenire de 600—650°C.

Rezultă că, după revenirea înaltă, oţelurile au cea mai bună asociere de caracteristici mecanice.

Tratamentul termic de călire urmat de o revenire înaltă se numeşte *îmbunătăţire*. Se aplică sculelor pentru prelucrare la cald, şuruburilor, piuliţelor etc.

Revenirea înaltă se execută în cuptoare pentru tratamente termice care funcţionează în condiţii ce asigură controlul temperaturilor.

B. TRATAMENTE TERMOCHIMICE

Tratamentele termochimice se aplică cu scopul de a mări fie duritatea, fie rezistenţa la coroziune sau la uzură a stratului superficial cu menţinerea plasticităţii şi tenacităţii miezului.

Difuziunea în stare solidă se bazează pe faptul că atomii metalului îşi pot schimba poziţia lor de echilibru trecînd între nodurile reţelei cristaline, iar de aici ei pot trece spre orice nod liber al reţelei.

În cursul tratamentului termochimic se deosebesc două faze succesive: în prima fază are loc reacţia dintre mediul înconjurător şi suprafaţa piesei, iar în faza a doua, elementul adsorbit de suprafaţa piesei difuzează spre interior.

Rezultatele procesului de tratament termochimic depind de viteza reacţiilor de la suprafaţa piesei şi de viteza cu care atomii elementelor care difuzează se deplasează din stratul superficial spre interiorul piesei.

S-a observat că reacţia cea mai activă a procesului are loc numai atunci cînd elementul care difuzează se degajă în stare atomică (atom activ).

Tratamentele termochimice se aplică în industrie, în cea mai mare măsură aliajelor Fe—C şi în special oţelurilor.

În funcţie de elementul care difuzează tratamentele termochimice se numesc cementare, nitrurare, cianizare etc.

1. Cementarea

Cementarea este tratamentul termochimic cu carbon aplicat oţelurilor în general cu conţinut mic de carbon, la o temperatură imediat superioară punctului Ac_3, într-un mediu capabil să cedeze carbon activ.

În vederea obţinerii unei piese cementate cu un miez tenace, cu o rezistenţă bună la solicitări dinamice, sînt indicate oţelurile cu 0,08—0,15%C. Pentru piese mai mari şi în cazurile în care se cere o duritate mai mare pentru miez, conţinutul de carbon se măreşte pînă la 0,25%.

Mediul care cedează elementul de difuziune, carbonul, se numeşte *mediu carburant* şi poate fi în stare solidă sau gazoasă.

a. **Cementarea în mediu solid.** Cementarea în mediu solid se produce într-un mediu carburant (de exemplu, în cărbune de lemn), în prezenţa unor substanţe (carbonat de bariu, carbonat de sodiu etc.) care activează procesul de carburare.

Prin reacția dintre cărbune și oxigenul din aer, la temperaturi înalte, se formează bioxidul de carbon (CO_2), care reacționează cu cărbunele, reducîndu-se la oxid de carbon (CO). În contact cu suprafața metalului, oxidul de carbon se descompune în bioxid de carbon și în carbon atomic; acesta difuzează în oțel, formînd cementita, sau se dizolvă în austenită.

Mediile carburante solide sînt alcătuite din cărbuni de lemn sub formă de granule, mai rar din cărbuni de pămînt (turbă și cocs) sau din cărbune animal.

Pentru accelerarea cementării în mediu solid, se folosesc și anumite substanțe cu rol de accelerator al procesului, numite *carbonați*, ca: Na_2CO_3, $BaCO_3$, care la încălzire se descompun ușor.

Astfel, la schema arătată mai sus se mai adaugă două reacții:

$$BaCO_3 + C \rightarrow BaO + 2CO \qquad (38.2)$$

$$2CO \rightarrow C + CO_2 \qquad (38.3)$$

Întrucît carbonatul se reface ($BaO + CO_2 \rightarrow BaCO_3$), se consideră că acceleratorii au un rol catalitic.

Un mediu carburant se folosește de mai multe ori, dar de fiecare dată se adaugă 15—20% cărbune proaspăt, iar uneori și 4—5% carbonat de sodiu sau de bariu.

Rezultatele operației de cementare depind de: compoziția chimică a oțelului de cementat, compoziția mediului carburant, temperatura și durata de cementare.

În cazul oțelurilor cu conținut mic de carbon, temperatura de cementare este de 900—920°C.

b. Cementarea în mediu gazos. Cementarea în mediu gazos se realizează prin trecerea unui gaz, din care se poate degaja carbon în stare atomică, în spațiul în care se află piesele ce urmează să fie cementate. Ca medii de cementare se folosesc gaze naturale (gazul metan) și gaze preparate artificial (gazul de iluminat, gazul de cocserie, gazele de cracare etc.) care conțin CO, CH_4, CO_2, N_2, H_2, în prezența unei cantități însemnate de H_2O. Cel mai bun și mai ieftin este gazul metan. În acest caz, carburarea are loc cînd metanul s-a disociat în carbon atomic și H_2:

$$CH_4 \rightarrow 2H_2 + C. \qquad (38.4)$$

Carbonul rezultat din descompunere trebuie să difuzeze treptat în oțel. Dacă degajarea carbonului este prea intensă și depășește viteza de difuziune a acestuia în oțel, pe suprafața piesei se depune carbon sub formă de negru de fum. Difuziunea este astfel îngreuiată, deoarece stratul de negru de fum micșorează contactul dintre piesă și faza gazoasă. Pentru evitarea acestui neajuns, în practica industrială se folosește sistemul diluării gazului metan care urmează să fie disociat. Diluarea se face fie cu propriile sale produse de ardere, fie cu alte gaze mai puțin bogate în carbon.

La cementarea cu gaze, temperatura este puțin mai înaltă decît la cea cu mediu solid, și anume de 900—950°C. Durata de menținere la această temperatură pentru difuziune nu este mică, dar, luînd în considerație timpul cu mult mai scurt pentru încălzirea pieselor, timpul total necesar cementării cu gaze este mai scurt decît în cazul cementării în mediu solid.

c. Structura stratului cementat. După tratamentul de carburare și recoacere, în stratul cementat se pot deosebi trei zone:

— zona hipereutectoidă, constituită din perlită și cementită în exces, cu un conținut de 1,0—1,2%C;

— zona eutectoidă, formată numai din perlită; urmează zonei hipereutectoide;

— zona hipoeutectoidă, compusă din perlită și ferită, constituie ultima zonă a stratului cementat.

Aceste zone nu trebuie să prezinte delimitări precise, pentru a nu permite exfolierea stratului cementat. Este necesar ca zona hipoeutectoidă să fie cît mai mare, pentru ca să asigure o trecere treptată între stratul cementat și miezul piesei.

Piesele cementate se supun tratamentului de călire dublă cu scopul de a realiza duritatea stratului cementat (600—700 HB). În acest scop, după cementare, piesele se încălzesc deasupra punctului A (la temperatura de 900—920°C), după care se efectuează prima călire în ulei și a doua călire în apă de la temperatura de 750—770°C.

2. Nitrurarea

Nitrurarea este tratamentul termochimic cu azot aplicat oțelurilor și fontelor cu o anumită compoziție chimică, la o temperatură inferioară punctului Ac_1, într-o atmosferă de amoniac sau în alt mediu capabil să pună în libertate azot activ. Acest tratament se aplică pentru obținerea unui strat superficial bogat în azot, cu scopul de a se mări duritatea superficială, rezistențele la uzură, la oboseală și la coroziune. Nitrurarea este precedată, dar nu este urmată de un alt tratament termic.

Nitrurarea oțelului (sau fontei) se poate efectua în mediu solid, lichid sau gazos; în toate cazurile însă, nitrurarea se datorește azotului activ în stare atomică.

În industrie se folosește frecvent nitrurarea în mediu gazos. Azotul atomic se obține prin disocierea amoniacului (NH_3) la temperaturi de peste 500°C.

Procesul de nitrurare constă din următoarele faze: disocierea amoniacului, saturarea stratului superficial cu azot și difuziunea azotului în miez:

$$2NH_3 \rightleftarrows 3H_2 + 2N. \qquad (38.5)$$

Azotul care se degajă reacționează cu fierul, formînd nitruri.

Răcirea de la temperatura de nitrurare se efectuează în cuptor, astfel încît în oțel nu se produc tensiuni de contracție.

Stratul nitrurat al oțelurilor este foarte subțire (fig. 38.11), de numai cîteva zecimi de milimetru. Duritatea stratului nitrurat ajunge la HV = 1 000 daN/mm², cea mai mare duritate ce se poate obține printr-un tratament termic sau termochimic.

Structura straturilor nitrurate este foarte diferită și depinde de condițiile de nitrurare (temperatură și timp) și, în special, de compoziția chimică a oțelului.

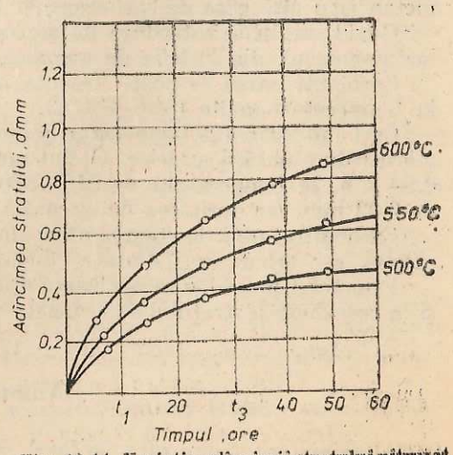


Fig. 38.11. Variația adîncimii stratului nitrurat la oțeluri cu temperatura și durata de menținere.

3. Cianizarea

Cianizarea este tratamentul termochimic cu carbon și azot aplicat oțelurilor prin încălzire deasupra punctului Ac_3, într-un mediu lichid capabil să cedeze azot activ.

Prin cianizare, la suprafața pieselor se obțin o duritate și o rezistență la uzură mari, menținîndu-se tenacitatea miezului.

Cianizarea se poate aplica diferitelor oțeluri, însă cele mai bune rezultate se obțin la cianizarea oțelurilor crom și crom-nichel.

Cianizarea are loc după reacțiile:

$$4NaCN + 2O_2 \rightarrow 4NaCNO, \qquad (38.6)$$

$$4NaCNO \rightarrow Na_2CO_3 + CO + 2N + 2NaCN \qquad (38.7)$$

Oxidul de carbon rezultat carburează superficial piesele de oțel, prin difuziunea carbonului atomic în austenită, conform reacției:

$$2CO \rightarrow CO_2 + C. \qquad (38.8)$$

Azotul în stare atomică difuzează și el în stratul superficial, formînd nitruri, care contribuie la mărirea durității stratului superficial.

Cianizarea se execută la temperaturi de 850—1 000°C. în cazul oțelurilor de construcție și la 550—575°C în cazul sculelor executate din oțel rapid.

Adîncimea stratului cianizat crește odată cu creșterea temperaturii și a duratei tratamentului.

4. Carbonitrurarea

Carbonitrurarea este tratamentul termochimic cu carbon și azot aplicat oțelurilor prin încălzire deasupra sau eventual sub punctul Ac_1, într-un mediu gazos capabil să cedeze carbon și azot activ.

Mediul gazos folosit la carbonitrurare este compus din 70—75% gaz metan (sau alte gaze de carburare) și 25—30% amoniac.

Gazul metan se introduce în cuptor direct din conducta rețelei de gaze, iar amoniacul, din butelia de amoniac.

Carbonitrurarea se poate executa la temperaturi joase (500—600°C) sau la temperaturi înalte (840—860°C).

Carbonitrurarea la temperaturi joase se aplică oțelurilor rapide, în vederea măririi durabilității sculelor. Oțelul rapid se supune carbonitrurării timp de 0,5—3 h, la temperatura de 510—560°C. Adîncimea stratului obținut este de 0,02 mm, iar duritatea de circa HV = 950...1 000 daN/mm².

Carbonitrurarea la temperaturi înalte se aplică diferitelor organe de mașini, ca: arbori, roți dințate, tacheți etc.

Prin acest procedeu se realizează duritate mare și rezistență bună la uzură și la coroziune a stratului superficial.

5. Aluminizarea

Aluminizarea (calorizare, alitare) este tratamentul termochimic cu aluminiu, aplicat materialelor metalice feroase, într-un mediu capabil să cedeze aluminiu activ.

Prin aluminizare crește rezistența la temperaturi înalte a oțelului, deoarece prin încălzire se formează o peliculă de oxizi care împiedică oxidarea în adîncime. Miezul pieselor aluminizate rămîne tenace.

Procedeul se aplică pieselor din oțel carbon obișnuit (cutii pentru cementare, creuzete pentru cianurare, grătare de cazane etc.). Suprafața acestora se saturează cu aluminiu pînă la 10—15%, pe o adîncime de 0,4—0,5 mm.

Aluminizarea se poate efectua în mediu solid (în pulberi) sau lichid (în băi de aluminiu topit). Cel mai frecvent însă este folosit un amestec din pulberi compus din: 43%Al, 49%Al_2O_3 și 2%NH_4Cl.

C. TRATAMENTUL TERMIC AL FONTELOR CENUȘII

Tratamentele termice ale fontelor cenușii sînt în principiu similare cu cele ale oțelurilor. Se aplică în următoarele scopuri:

— eliminarea sau reducerea tensiunilor de turnare;

— modificarea structurii masei metalice de bază;

— îmbunătățirea proprietăților stratului superficial prin tratamente termochimice.

Tensiunile interne rezultate din turnare se elimină printr-o recoacere de detensionare în cuptoare obișnuite de tratament termic, la 500—550°C. Piesele se mențin la această temperatură timp de 2—8 h, apoi se răcesc lent (20—50°C/h) pînă la 250—300°C.

Modificarea structurii masei metalice de bază a fontelor, în scopul obținerii unor anumite caracteristici mecanice, se realizează prin următoarele operații de tratament termic:

— recoacere de înmuiere;

— normalizare;

— călire, urmată de revenire joasă sau înaltă.

Recoacerea de înmuiere urmărește micșorarea durității pieselor, prin descompunerea parțială sau totală a cementitei sau prin creșterea cantității de ferită liberă.

Condițiile recoacerii se stabilesc în funcție de dimensiunile pieselor, de structura de turnare și de structura care trebuie obținută. Astfel, fonta perlitică se încălzește la 800—850°C și se răcește apoi încet în intervalul de 700—780°C.

Normalizarea urmărește modificarea proprietăților masei metalice de bază. Se aplică, în general fontelor cenușii perlito-feritice, feritice și fontelor pestrițe; se aplică mai rar fontelor cenușii perlitice. Fonta pestriță are structura alcătuită din perlită și cementită liberă și din grafit separat sub diferite forme în masa perlitică.

Fontele se încălzesc pînă la 870—920°C, se mențin la această temperatură, timp de 1—3 h, după care urmează o răcire lentă în aer.

Călirea aplicată fontelor cenușii nu se deosebește de cea aplicată oțelurilor, transformările structurale fiind identice; îmbunătățirea caracteristicilor mecanice este însă mai puțin accentuată, călirea neinfluențînd și formațiile de grafit.

Tratamentul termic de călire se aplică în special fontelor moi, fontelor feritice și perlito-feritice.

Călirea se execută încălzind fontele la 900—950°C, se mențin la această temperatură timp de 2—2,5 h, apoi se răcesc brusc în ulei.

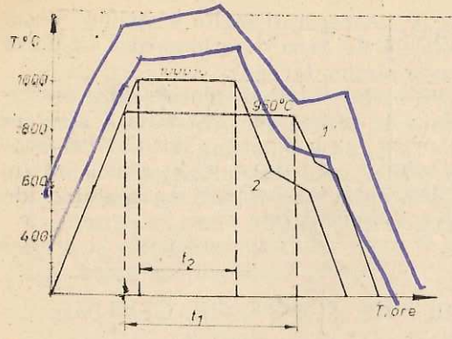


Fig. 38.12. Regimul de maleabilizare a fontelor albe turnate în piese:
1 — curbă pentru temperatura de încălzire; t_1 — durata de menținere la 950°C; *2* — curba pentru temperatura de încălzire; t_2 — durata de menținere la 1000°C.

Revenirea. Ca și în cazul oțelurilor, piesele din fontă călite se supun în continuare revenirii.

Temperaturile la care se execută revenirea depind de rezultatele urmărite, fiind totdeauna inferioare temperaturii punctului critic Ac_1. De obicei, revenirea se execută la 200—300°C, cu menținere la această temperatură 1,5—2 h, urmată de o răcire lentă.

În cazul cînd se urmărește păstrarea constituenților de călire, revenirea se execută la temperatură joasă (150—200°C), urmărind numai îndepărtarea tensiunilor remanente de călire.

Tratamentul termic aplicat fontelor albe constă într-o recoacere de maleabilizare. Această recoacere se aplică fontelor hipoeutectice cu conținut redus de Mn, Si și C.

În figura 38.12 este reprezentat regimul de maleabilizare aplicat pieselor turnate din fontă albă. Durata de menținere pentru realizarea recoacerii depinde de temperatura de încălzire, fiind mai mare pentru temperaturi mai scăzute.

Tratamentul termochimic al fontelor cenușii. Pentru a se mări rezistența fontelor cenușii la uzură și la acțiunea corosivă a diverșilor agenți, acestea se supun nitrurării. Fontele cenușii obișnuite, în general, nu se nitrurează, deoarece stratul nitrurat rezultat are duritate mică și este fragil, distrugîndu-se rapid.

Pentru a se evita distrugerea stratului nitrurat și pentru a-i mări duritatea, fontele care se supun nitrurării se aliază cu crom și aluminiu.

De asemenea, se aplică cromizarea pentru a mări rezistența la uzură și silicizarea pentru a mări rezistența la oxidare și la acțiunea acizilor.

D. TRATAMENTUL TERMIC AL METALELOR ȘI ALIAJELOR NEFEROASE

Dintre metalele și aliajele neferoase, cele mai importante, din punctul de vedere al tratamentelor termice, sînt: cuprul, aluminiul, magneziul și aliajele lor.

Aceste materiale metalice se utilizează în industrie sub formă de produse turnate, forjate, laminate și trefilate.

Produsele din metale și aliaje neferoase se supun unor tratamente termice, și anume: recoacerea de recristalizare, călirea, revenirea, îmbătrînirea.

Recoacerea de recristalizare se aplică produselor obținute prin deformarea plastică la rece. Acest tratament termic constă în încălzirea materialului pînă la o anumită temperatură, menținerea lui la această temperatură un anumit timp și apoi răcirea lui în cuptor sau în aer.

Prin recoacerea cuprului trefilat la rece se obține un cupru moale, care are o conductibilitate electrică mărită.

Călirea și revenirea se aplică produselor din bronzuri de aluminiu.

Tratamentul termic constă dintr-o încălzire a piesei într-o soluție cu temperatura de 900°C, urmată de o răcire rapidă în apă. După călire se aplică o revenire la temperaturi alese în funcție de caracteristicile mecanice necesare.

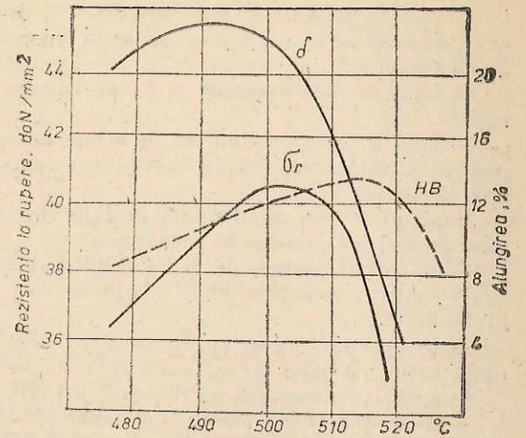


Fig. 38.13. Dependența caracteristicilor mecanice ale duraluminiului de temperatura de călire.

Călirea și îmbătrînirea. Aliajele pe bază de aluminiu suferă numeroase transformări de fază la încălzire și la răcire. De exemplu, la aliajele aluminiu-cupru, încălzire la temperatura corespunzătoare și apoi răcite brusc în apă, procesul de separare a fazei în exces ($CuAl_2$) din soluția solidă nu se mai produce. Deci soluția solidă este suprasaturată, nestabilă. Datorită acestei nestabilități, în aliaj au loc transformări structurale care măresc rezistența de rupere și duritatea aliajului (fig. 38.13). Aceste transformări constituie fenomenul de îmbătrînire. Dacă îmbătrînirea are loc la temperatura obișnuită, atunci este naturală, și cînd se realizează prin încălzire la temperaturi joase, atunci se numește *îmbătrînire artificială.*

Aliajele de aluminiu cu magneziu (0,3—0,5%), siliciu (0,4—0,7%) și fier (0,2—0,3%), numite aldrey, pentru conductoare, se încălzesc la 500—600°C, temperatură la care compusul Mg_2Si se află în întregime sub formă de soluție solidă în aluminiu. Prin răcire rapidă în apă, Mg_2Si rămîne în soluție.

După o depozitare îndelungată (îmbătrînire naturală) sau prin încălzirea aliajului călit la 150—200°C (îmbătrînire artificială), surplusul de Mg_2Si se degajează în soluție solidă sub forma unui component structural, fin dispersat, mărind rezistența mecanică a aliajului.

E. MĂSURI DE TEHNICĂ A SECURITĂȚII MUNCII ÎN SECȚIILE DE TRATAMENTE TERMICE

Fiecare muncitor din secția de tratamente termice trebuie să respecte, în timpul lucrului, măsurile de tehnică a securității muncii, să folosească rațional echipamentul și dispozitivele de protecție în vederea păstrării sănătății lui și a celor din jurul său.

Măsurile de tehnică a securității muncii la deservirea cuptoarelor de forjă sînt valabile și la cuptoarele de tratamente termice.

Măsurile de tehnică a securității la cuptoarele cu băi sînt următoarele:

— să se poarte mănușile și ochelarii de protecție;

— piesele, înainte de a fi introduse în baie, să fie încălzite, pentru a se evita împroşcarea sării topite; la fel se procedează şi cu sculele care se introduc în baie;

— băile de călire trebuie să fie prevăzute cu nişe de ventilaţie prin aspiraţie;

— băile de călire trebuie să fie acoperite cu un capac prevăzut cu o pîlnie pentru introducerea pieselor în vederea apărării muncitorului de stropire cu apă fierbinte.

Pentru evitarea accidentelor la deservirea instalaţiilor de tratamente termice trebuie să se respecte următoarele:

— să se îndepărteze de la locul de muncă obiectele inutile;

— sculele şi utilajele folosite la încărcarea pieselor în cuptor trebuie să fie în bună stare;

— braţele cleştilor să fie suficient de lungi, astfel încît distanţa de la mîna muncitorului şi pînă la uşa cuptorului să fie de minimum 750 mm;

— sculele de lucru să se răcească periodic cu apă;

— în timpul călirii pieselor, muncitorul să nu se aplece deasupra bazinului de răcire;

— piesele grele se vor manevra cu ajutorul macaralei;

— la călire, piesele trebuie cufundate în baie repede şi la o adîncime de 200—250 mm de la suprafaţa lichidului.

Cuprins

III. Tehnologia sudării

Cap. 25. Sudabilitatea metalelor şi aliajelor 4
1. Clasificarea procedeelor de sudare 4
2. Sudabilitatea metalelor şi aliajelor 5
3. Metale şi aliaje neferoase pentru construcţii sudate 10
4. Clasificarea îmbinărilor sudate 11
5. Formele şi dimensiunile rosturilor pentru sudare 13
6. Alegerea sculelor şi a dispozitivelor pentru încălzirea metalelor şi aliajelor în funcţie de procedeul de sudare şi de grosimea pieselor 18
7. Tensiuni şi deformaţii în piesele sudate 22
8. Măsuri de tehnică a securităţii muncii şi norme de prevenire şi stingere a incendiilor în atelierul de sudare 25

Cap. 26. Sudarea cu arc electric 28
1. Utilaje şi materiale folosite 28
2. Sudarea cu arc electric cu electrozi fuzibili înveliţi 34
3. Sudarea automată cu arc electric sub strat de flux 37
4. Sudarea cu electrod fuzibil 39
5. Sudarea cu electrod nefuzibil 43
6. Măsuri de tehnică a securităţii muncii 46

Cap. 27. Sudarea cu flacără de gaze 47
1. Materiale şi utilaje folosite la sudarea cu flacără cu gaze 47
2. Tehnologia sudării cu flacără de gaze 56
3. Măsuri de tehnică a securităţii muncii şi de prevenire şi stingere a incendiilor la sudarea metalelor cu flacără de gaz 62

Cap. 28. Sudarea prin presiune 64
1. Procedee de sudare 64
2. Tehnologia sudării prin presiune a diferitelor metale şi aliaje metalice 75

Cap. 29. Debitarea materialelor metalice 78
1. Debitarea cu flacără de gaz şi oxigen 78
2. Debitarea cu arc electric 84
3. Calitatea. Defectele de debitare 86

IV. Tehnologia turnării materialelor metalice şi a executării formelor

Cap. 30. Proprietăţile de turnare ale metalelor şi aliajelor metalice 88
1. Generalităţi 88
2. Proprietăţile tehnologice pentru turnare 89
3. Solidificarea pieselor turnate 90

4. Segregații în piesele turnate 93
5. Tensiuni și deformații 93

Cap. 31. Materiale și amestecuri de formare 95

A. Materiale de formare 95
1. Nisipuri și lianți pentru turnătorie 95
2. Adaosuri pentru îmbunătățirea compresibilității amestecurilor de formare 97
3. Pudre și vopsele de protecție și izolație 97
B. Amestecuri de formare 99
1. Clasificarea amestecurilor de formare 99
2. Pregătirea, prepararea și regenerarea amestecurilor de formare .. 100
3. Proprietățile amestecurilor de formare 101
4. Determinarea proprietăților amestecurilor de formare 102
C. Măsuri de tehnică a securității muncii la prepararea amestecurilor de formare 104

Cap. 32. Utilaje, scule și dispozitive folosite la formare 105

1. Rame de formare 105
2. Scule folosite la formare 105
3. Modele, cutii de miez și plăci de model 105
4. Executarea garniturilor de model 100
5. Măsuri de tehnică a securității muncii în atelierele de modelărie .. 112

Cap. 33. Metode de executare a formelor și a miezurilor 113

A. Executarea manuală și mecanizată a formelor temporare și a miezurilor 113
1. Elemente constructive ale rețelei de turnare 113
2. Formarea manuală 116
3. Formarea mecanică 119
4. Operații ulterioare executării formelor și a miezurilor 123
5. Executarea formelor temporare din amestecuri cu proprietăți speciale 125

B. Forme permanente pentru turnarea pieselor 129
1. Forme permanente pentru turnarea statică 129
2. Forme pentru turnarea centrifugă 130
3. Forme permanente pentru turnarea sub presiune 131
4. Forme permanente pentru turnarea continuă 133
5. Forme permanente pentru turnarea prin aspirație 134
C. Defectele și remanierea pieselor turnate 135
1. Defecte de turnare 135
2. Metoda pentru detectarea defectelor pieselor turnate 136
3. Procedee de remaniere 138
D. Forma tehnologică a pieselor turnate 140
1. Piese turnate în forme din amestec de formare 140
2. Piese turnate în forme metalice (cochilii) 144
E. Precizia dimensională și calitatea suprafeței pieselor turnate 146
1. Precizia dimensională 146
2. Calitatea suprafeței pieselor turnate 147
F. Măsuri de tehnică a securității muncii în turnătorii 148

Cap. 34. Elaborarea aliajelor pentru turnare în piese 149

1. Aliaje turnate în piese 149
2. Elaborarea fontei de turnătorie 151

3. Proprietățile de turnare ale fontelor 153
4. Elaborarea oțelului 153
5. Proprietățile de turnare ale oțelului 156
6. Elaborarea aliajelor neferoase 156

V. **Tehnologia forjării și tratamentelor termice și termochimice**

Cap. 35. Tehnologia prelucrării metalelor și aliajelor prin deformare plastică 162

A. Generalități 162
B. Deformarea elastică și plastică a metalelor și aliajelor 163
1. Mecanismul deformării plastice 163
2. Deformarea plastică a metalelor și aliajelor la rece și la cald 164
3. Efectul condițiilor de deformare asupra rezistenței la deformare 166
4. Legile deformării plastice 167
5. Influența frecării exterioare asupra proceselor de deformare plastică 168

Cap. 36. Încălzirea aliajelor metalice în vederea deformării 170

1. Instalații de încălzire 170
2. Defectele datorită încălzirii materialului 172
3. Tehnologia încălzirii materialelor metalice 173
4. Măsuri de tehnică a securității muncii la încălzirea materialelor metalice și de prevenire și stingere a incendiilor 175
5. Aplicații 176

Cap. 37. Procedee de prelucrare prin deformare plastică 178

A. Clasificarea procedeelor de prelucrare prin deformare plastică 178
B. Forjarea liberă 180
1. Scule și dispozitive folosite la forjarea liberă 180
2. Utilaje folosite la forjarea liberă 183
3. Operații de forjare liberă 187
4. Întocmirea procesului tehnologic la forjarea liberă 190
5. Aplicații 192

C. Forjarea în matriță (matrițarea) 193

1. Semifabricate folosite la matrițare 193
2. Utilaje folosite la matrițare 195
3. Scule pentru matrițare 197
4. Întocmirea procesului tehnologic de matrițare 201
5. Tehnologii de matrițare 202
6. Operații ulterioare matrițării 203
7. Forma tehnologică a pieselor matrițate 205
8. Procedee speciale de matrițare 206
9. Oțelurile folosite la executarea matrițelor 213
10. Controlul și remedierea defectelor pieselor matrițate 214
D. Organizarea ergonomică a locului de muncă în secțiile de forjă 215
1. Amplasarea secției 215
2. Amplasarea utilajelor 215
3. Organizarea locului de muncă 217
4. Mecanizarea și automatizarea procesului de producție 217
E. Măsuri de tehnică a securității muncii la forjarea liberă și în matriță 217
F. Deformarea plastică prin laminare, extrudare, trefilare și ambutisare 219
1. Laminarea 219
2. Extrudarea 224

3. Trefilarea sîrmelor. Tragerea barelor și țevilor 227
4. Ambutisarea 230
5. Aplicații 232

Cap. 38. Tehnologia tratamentelor termice și termochimice 234

A. Tratamente termice 234
1. Clasificarea tratamentelor termice 234
2. Recoacerea oțelurilor 234
3. Călirea și revenirea oțelurilor 238
B. Tratamente termochimice 245
1. Cementarea 245
2. Nitrurarea 247
3. Cianizarea 248
4. Carbonitrurarea 248
5. Aluminizarea 248
C. Tratamentul termic al fontelor cenușii 249
D. Tratamentul termic al metalelor și aliajelor neferoase 250
E. Măsuri de tehnică a securității muncii în secțiile de tratamente termice 251
Cuprins 253

Nr. colilor de tipar : 16
Bun de tipar : 22.06.1960

Com. nr. 369/15 624 B
Combinatul Poligrafic
„CASA SCÎNTEII"
București — R.S.R.