

VALERIU JINESCU
SILE MĂRGINEAN CARMEN ACULAI FLORICA VOLANSCH
ANA OLIVIA COFARU IOANA VÂLCEANU

UTILAJUL ȘI TEHNOLOGIA MESERIEI

CONSTRUCȚII DE MAȘINI

Manual pentru clasa a XII-a, licee industriale
cu profil de mecanică și anul III, școli profesionale

Manualul actual îl reproduce pe cel din anul 1996 și corespunde programei școlare nr. 38610/1991 aprobate de Ministerul Învățământului.

ISBN 973-30-5535-2

Copyright © 1997. Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate Editurii Didactice și Pedagogice, R.A.

Coordonator: Prof. dr. ing. Valeriu V. Jinescu.

Contribuția autorilor:

ing. V. V. Jinescu, cap.: 1, 2, 4, 5, 6, 10;

ing. T. Sima, cap.: 3, 4, 15, 16;

ing. V. Mărginean, cap.: 6.3 – 6.5; 6.8; 7, 9, 11, 13, 16;

ing. C. Aculai, cap.: 8, 12;

ing. F. Volanschi, cap. 17;

ing. A. O. Cofaru, cap. 14;

ing. I. Vălcănuș, cap. 13.5;

Utilajul și Tehnologia Meseriei – Construcții Mecanice –

În toate instalațiile industriale, mari sau mici, care au drept scop obținerea unor produse finite trecând materiile prime prin diverse procese de prelucrare fizică, chimică, biofizică, biochimică sau fizico-chimică, se utilizează utilaje tehnologice (sau echipamente de proces) specifice.

În categoria acestor utilaje sunt cuprinse recipientele sub presiune, rezervoare diverse, dispozitivele de amestecare, utilajele pentru transfer termic și pentru transfer de masă, utilajele pentru mărunțirea și fracționarea granulometrică a materialelor solide, utilajele pentru vehicularea fluidelor (pompe, compresoare etc.), agregatele cu tambur rotativ și altele.

Toate aceste tipuri de utilaje sunt prezentate și tratate în manual, din punct de vedere constructiv și funcțional.

Pe lângă acestea, pentru a dezvolta gândirea și aptitudinile elevului care se pregătește în profil mecanic, manualul cuprinde unele capitole care se referă la:

- specificul construcțiilor metalice industriale, precum și la construcția stâlpilor, turnurilor și pilonilor, adeseori întâlniți în instalațiile industriale și în construcțiile civile;*
- tehnologiile pentru fabricarea componentelor care alcătuiesc utilajele și construcțiile metalice etc., prezentate în manual;*
- protejarea anticorrosivă a suprafețelor utilajelor, construcțiilor metalice etc.*

Manualul este elaborat ținând seama de nivelul de înțelegere al elevilor cărora se adresează și anume – clasa a XII-a și anul III – școli profesionale.

Prof. dr. ing. Valeriu V. Jinescu

Redactor: ing. Pompiliu Ișfan, prof. gr. II

Tehnoredactor: Anca Peta

Grafician: Elena Dumitru

1.

UTILAJUL TEHNOLOGIC ȘI INSTALAȚIILE DE PROCES

1.1. INDUSTRII DE PROCES DIN ȚARA NOASTRĂ

Dezvoltarea industriilor de proces este condiționată de cantitatea și de calitatea utilajelor care pot fi produse în țară. În acest sens, formarea unor specialiști de înaltă calificare în domeniul utilajului tehnologic se impune cu necesitate. În perspectiva anilor următori, atât în industriile de proces, cât și în industria constructoare de utilaje pentru industriile de proces, se pune problema reducerii consumurilor de energie, perfecționării utilajelor tehnologice, măririi siguranței lor în funcționare, realizării compacte a instalațiilor (cât mai mult în aer liber), economiei de metal în construcția utilajelor și economiei de energie în vehicularea substanțelor în fluxurile de fabricație.

Multe dintre substanțele naturale sau sintetice produse de industriile de proces contribuie direct sau indirect la satisfacerea nevoilor omeniirii. De exemplu, chimia furnizează medicamente, îngrășăminte, hrană, hârtie, combustibili, materiale de construcție, intervine în protecția mediului etc. Industria chimică din țara noastră cuprinde întreprinderi și combinate chimice (fig. 1.1), întreprinderi pentru prelucrarea materialelor plastice, combinate pentru prelucrarea cauciucului, întreprinderi pentru obținerea medicamentelor, a coloranților etc., precum și

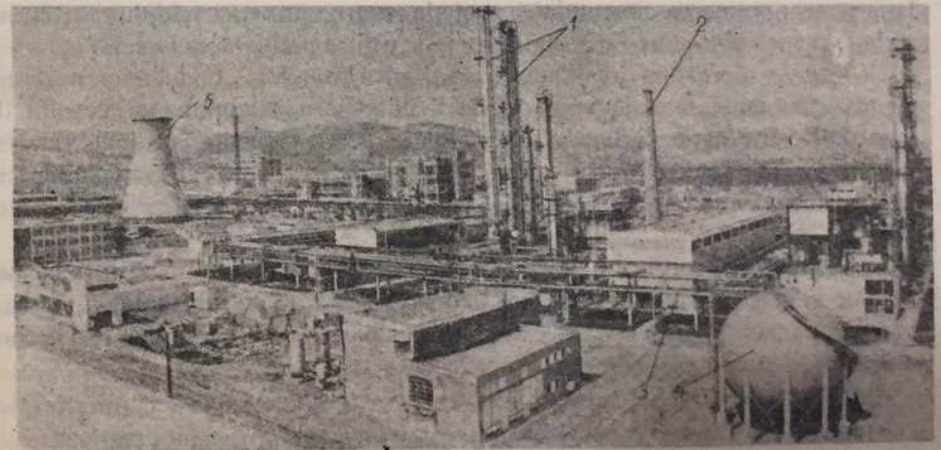


Fig. 1.1. Vedere panoramică dintr-o platformă chimică;

1 - aparate de tip coloană; 2 - coș de fum; 3 - conducte; 4 - rezervor sferic; 5 - turn de răcire.

întreprinderi care fabrică utilaj chimic. Majoritatea sunt denumite în prezent societăți comerciale. Unități ale industriei chimice și petrochimice, ale industriei alimentare etc. se află pe întreg teritoriul țării noastre.

De exemplu, la Craiova, Borzești, Făgăraș, Râmnicu-Vâlcea, Turnu-Măgurele, Piatra Neamț, Slobozia, Târgu Mureș, Brazi, Pitești, Năvodari, Timișoara, București, Buzău, Iași, Galați, Cluj, Drăgășani, Tulcea, Oradea, Florești-Prahova, Pitești, Caracal, Zalău, Târgu Jiu etc.

Datorită importanței crescânde a utilajelor pentru industriile de proces au fost dezvoltate, în mai multe orașe din țară, întreprinderi constructoare de utilaj tehnologic: la București, Făgăraș, Ploiești, Găești, Borzești, Buzău, Râmnicu-Vâlcea, Moreni, Odorhei, Băicoi, Târgu Mureș etc.

Ca urmare, unele combinate și întreprinderi au fost integral realizate cu utilaje fabricate în țară; extinderile unor combinate chimice mai vechi au fost de asemenea realizate cu utilaje concepute și executate la uzinele constructoare de utilaj tehnologic din țara noastră.

În prezent, întreprinderile de utilaj tehnologic, produc echipamente complexe pentru parteneri străini în cadrul unor contracte pe termen lung și mediu. Menținerea acestora este legată de atestările internaționale care se obțin periodic, iar acestea depind în primul rând de calitatea specialiștilor cu studii superioare, a celor cu studii medii și de valoarea și nivelul de pregătire al muncitorilor.

1.2. UTILAJUL TEHNOLOGIC DIN INDUSTRIILE DE PROCES

O întreprindere din industria de proces cuprinde, în general, mai multe instalații de proces.

Instalația de proces este ansamblul de construcții (clădiri, construcții metalice etc.) și utilaje, montate astfel încât să formeze un tot unitar în scopul obținerii unui anumit produs. De exemplu, instalația pentru obținerea etilenei; instalația pentru obținerea cimentului; instalația pentru obținerea acidului azotic; instalația pentru obținerea zahărului; instalația pentru prelucrarea laptelui etc.

Utilajele reprezintă totalitatea mașinilor, aparatelor, conductelor necesare pentru efectuarea unei anumite lucrări, sau pentru asigurarea procesului de lucru într-o instalație sau într-o întreprindere. Într-o instalație, utilajele (mașini și aparate) sunt asamblate în serie sau în paralel, cu ajutorul conductelor, în funcție de cerințele procesului tehnologic care stă la baza realizării produsului respectiv.

Aparatele de proces sunt corpuri materiale în care au loc operații fizice sau chimice în care nu intervin elemente în mișcare diferite de substanțele utile care trec sau rămân în aparat. De exemplu: recipiente sub presiune, rezervoare, buncăre, ejectoare, cicloane etc.

Mașina reprezintă un complex de corpuri materiale, care posedă mișcări determinate având ca scop executarea unui *lucru mecanic util*, legat de procesul de producție sau de un proces de *transformare a energiei*. Mașinile pot fi mașini motoare sau mașini de lucru.

Mașinile motoare servesc transformării unei forme de energie în alta. De exemplu: mașinile și turbinele cu abur transformă energia termică a aburului în energie mecanică; motoarele cu ardere internă transformă energia termică eliberată prin arderea combustibilului în energie mecanică; motorul electric transformă energia electrică în energie mecanică, generatorul electric transformă energia de antrenare (mecanică) în energie electrică etc.

Mașinile motoare sunt în număr mare în industriile de proces. Mașinile de lucru sunt puse în mișcare (antrenate) de mașini motoare.

Mașinile de lucru servesc modificării proprietăților, stării, formei sau poziției obiectului de prelucrat. De exemplu: compresorul și ventilatorul schimbă starea (presiunea și temperatura) gazului pe care-l comprimă; un transportor cu bandă sau un ascensor modifică poziția în spațiu a obiectului pe care-l deplasează; o mașină de extrudare sau de injectare schimbă forma materialului cu care este alimentată; într-un reactor chimic prevăzut cu dispozitiv de amestecare poate avea loc schimbarea proprietăților substanței alimentate; o mașină-unealtă schimbă forma piesei prelucrate etc. Specialiștii în utilaj tehnologic cu pregătire medie urmează să lucreze fie în sectorul mecanic sau mecano-energetic al unei întreprinderi de proces, fie într-o întreprindere constructoare de utilaj tehnologic.

Industria modernă folosește puțină muncă manuală, însă pretinde calificare superioară la toate nivelurile de activitate.

1.3. ROLUL UTILAJULUI TEHNOLOGIC

Realizarea producției instalațiilor de proces depinde de buna funcționare și de siguranța în funcționare a utilajelor. De calitatea concepției și execuției utilajelor depind atât calitatea produselor obținute, cât și consumul de energie.

În epoca modernă utilajul tehnologic trebuie să permită atât obținerea la scară industrială a producției cerute, cât și să asigure ca produsele obținute să aibă calități superioare, iar energia consumată pe unitate de produs să fie cât mai mică.

Elementele componente ale utilajului cât și utilajul în ansamblu trebuie astfel concepute și executate încât pe durata funcționării să reziste solicitărilor cărora le este supus (presiune, temperatură etc.), să-și mențină forma și să fie etanș.

Un recipient sub presiune, de exemplu, reprezintă o mică bombă. Ea este pașnică, dacă a fost bine concepută și bine realizată. Datorită pericolului pe care-l prezintă fisurarea și ruperea unui recipient sub presiune, atât pentru operatorii care-l deservesc, cât și pentru integritatea instalației din care face parte, devine evidentă necesitatea acordării unei atenții deosebite tuturor etapelor, de la realizarea până la scoaterea din funcțiune a unui asemenea recipient (construcție, proba de presiune, transport, montare în instalație, exploatare, verificarea periodică). Gradul de pericolozitate crește dacă asemenea recipiente sub presiune conțin gaze comprimate, fluide toxice sau inflamabile.

Utilajul tehnologic trebuie realizat economic, însă sigur în exploatare. Siguranța în exploatare a utilajelor tehnologice se obține prin asigurarea rezistenței, rigidității și etanșității acestora.

1.4. FORME GEOMETRICE UTILIZATE PENTRU CONSTRUCȚIA UTILAJULUI TEHNOLOGIC

În general, partea principală a unui utilaj are forma unui corp geometric de revoluție (cilindric, sferic, elipsoidal, conic, paraboloidal, hiperbolic, toroidal). Un corp de revoluție, după cum se știe, se obține prin rotirea unei curbe plane oarecare în jurul unei axe fixe, situată în planul ei și care nu intersectează curba.

De exemplu: sfera se obține prin rotirea unui semicerc în jurul diametrului său; cilindrul rezultă prin rotirea unui dreptunghi în jurul uneia dintre laturile sale; conul se formează prin rotirea unui triunghi dreptunghic în jurul uneia din catetele sale etc.

1.5. ÎNVELIȘURI ȘI CORPURI CU PERETE GROS

Spre deosebire de suprafața de revoluție (noțiunea de geometrie), „corpurile” de revoluție tehnice, care intră în componența utilajelor, se caracterizează prin grosimea s (fig. 1.2). Raportul dintre raza suprafeței exterioare, R_2 , și raza suprafeței interioare, R_1 , pentru aceste corpuri, este o mărime caracteristică notată cu:

$$\beta = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + s}{R_1} = 1 + \frac{s}{R_1} \quad (1.1)$$

În funcție de grosime aceste corpuri tehnice se împart în:

– *învelișuri cu perete subțire*, pe care le vom numi prescurtat *învelișuri*, caracterizate prin aceea că grosimea s este mult mai mică decât raza de curbură, R . În general, pentru învelișuri $\beta \leq 1,1$ ceea ce înseamnă că $\frac{s}{R_1} \leq 0,1$;

– *corpuri cu perete gros*, caracterizate prin aceea că grosimea s este relativ mare și anume $\beta \geq 1,2$ sau $\frac{s}{R_1} \geq 0,2$.

Corpurile tehnice cu $\beta \in (1,1; 1,2)$ formează o categorie intermediară; cel mai des ele sunt incluse însă în categoria învelișurilor.

1.5.1. Învelișurile și construcția utilajului tehnologic

Construcții întregi sau numai părți ale acestora au forma unor învelișuri de revoluție: cupole (învelitori din beton armat), părți ale fuselajelor avioanelor și rachetelor, părți ale unor ambarcațiuni și construcții nautice, rotoarele și

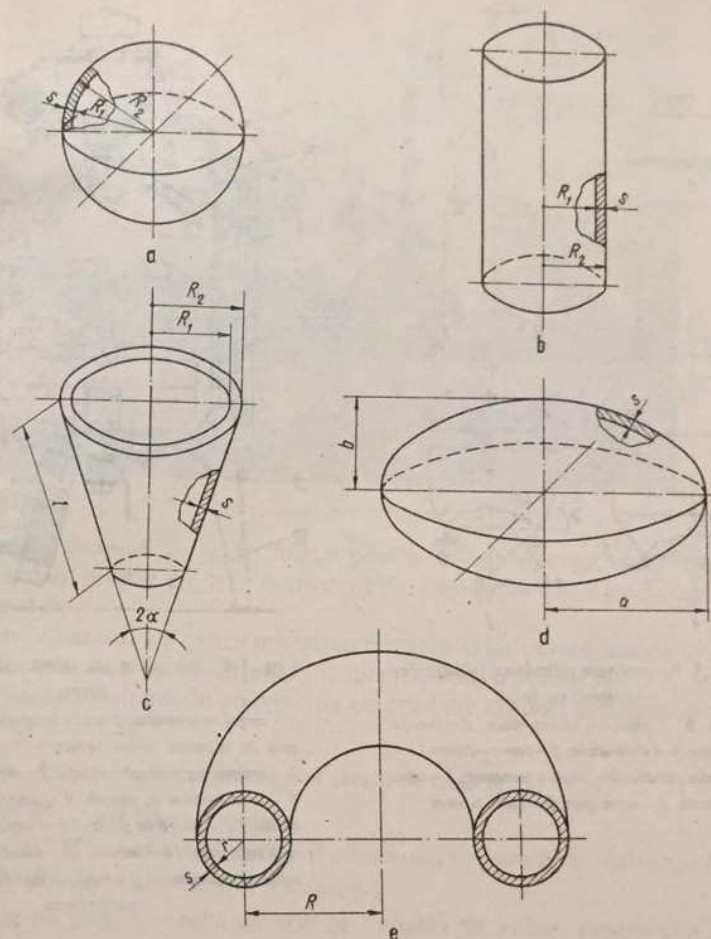


Fig. 1.2. Corp de revoluție tehnic:
a - sferic, b - cilindric, c - tronconic, d - elipsoidal, e - toroidal.

carcasele unor mașini (turbine, centrifuge, pompe, ventilatoare etc.), recipiente sub presiune, coloanele de distilare sau de rectificare, agregatele cu tambur rotativ, rezervoarele și gazometrele, conductele etc.

Învelișurile de revoluție intră în componența celor mai diferite mașini și aparate. În figura 1.1 este reprezentată o parte dintr-un combinat chimic ale cărei componente (aparate de tip coloană, aparate tubulare, conducte), au formă cilindrică; sunt învelișuri de revoluție cilindrice.

Rezervoarele pentru depozitarea substanțelor și rezervoarele tampon în industria chimică și petrochimică se realizează în mod curent de formă cilindrică (verticale sau orizontale) sau sferică (fig. 1.1).

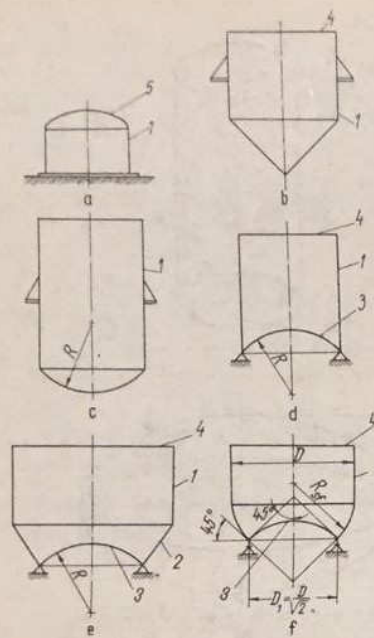


Fig. 1.3. Rezervoare cilindrice (schite de principiu) cu fund:

a - plat; b - conic; c - convex-sferic; d - concav-sferic; e - cono-sferic; f - convex-concav.
1 - înveliș cilindric; 2 - înveliș tronconic; 3 - calotă sferică; 4 - capac plan; 5 - capac bombat.

Buncărele pentru depozitarea substanțelor granulare sau pulverulente se construiesc de formă cilindro-conică (fig. 1.3, b).

Rezervoarele cilindrice se realizează cu fund plat, (fig. 1.3, a), conic (fig. 1.3, b), convex (sferic, elipsoidal etc.) (fig. 1.3, c și fig. 1.4), concav (sferic, elipsoidal etc.) (fig. 1.3, d), cono-sferic și convex-concav (fig. 1.3, e, f) și cu capac plat (fig. 1.3, b-f) sau bombat (sferic, elipsoidal etc.) (fig. 1.3, a și 1.4) sau, în cazul rezervoarelor de mare capacitate, cu capac combinat (de exemplu, o parte de elipsoid continuată cu o calotă sferică).

Recipiente sub presiune se întâlnesc frecvent în industriile de proces (chimică și petrochimică, alimentară, ușoară etc.). De exemplu, utilajul din figura 1.4, conceput pentru amestecarea substanțelor vâscoase aderente la pereții metalici și termolabile, este prevăzut cu cămașă de încălzire 1 și cu amestecătoare 2, atât pe axa recipientului, cât și periferic.

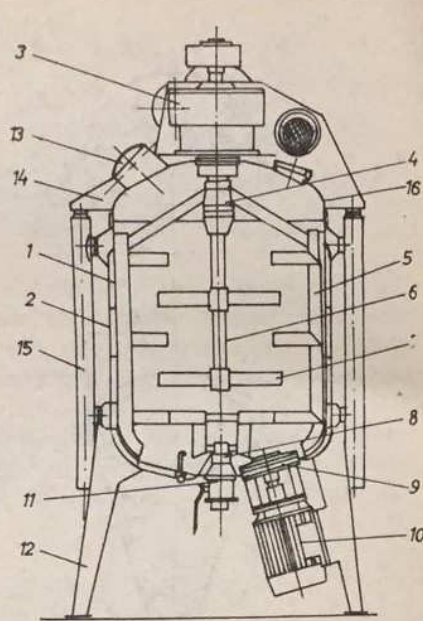


Fig. 1.4. Recipient cu dispozitiv de amestecare:

1 - corpul recipientului; 2 - manta (cămașă) de încălzire; 3 - grup de antrenare (motor reductor); 4 - arbore tubular; 5 - amestecător cadru; 6 - arbore; 7 - amestecător cu brațe; 8 - lagăr limitator de săgeată; 9 - amestecător-disc; 10 - motor; 11 - racord de golire; 12 - suport-rezemat; 13 - gură de vizitare; 14 - nervuri; 15 - cilindri hidraulici pentru ridicarea capacului 16 și a dispozitivelor de amestecare montate pe capac.

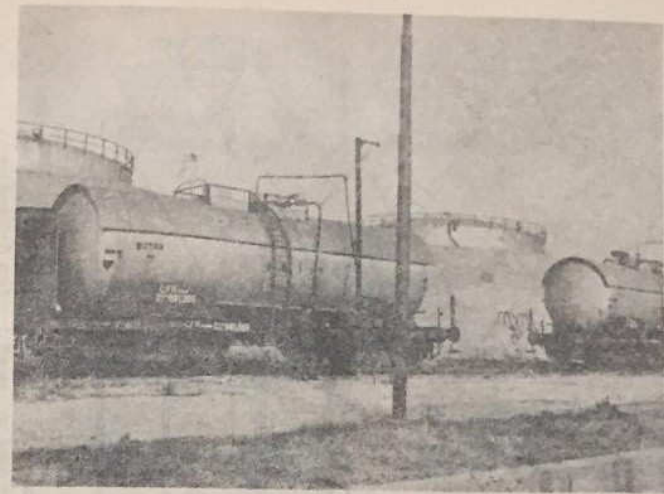


Fig. 1.5. Vagon cisternă pentru transportat butan.

Vagoanele cisternă de cale ferată pentru transportul gazelor lichefiate (amoniac, butan, propan etc.), se realizează de formă cilindrică cu capace elipsoidale (fig. 1.5).

În ultimele decenii s-a extins utilizarea formei sferice pentru utilaje sau părți ale utilajelor tehnologice. Învelișul sferic, pentru același volum interior, are aria suprafeței laterale minimă, în comparație cu celelalte corpuri geometrice. După cum se știe (v. fig. 1.2):

$$V_s = \frac{4}{3} \pi \cdot R_s^3 \text{ este volumul interior al sferei de rază } R_s;$$

$$A_s = 4\pi \cdot R_s^2 \text{ - aria laterală a sferei;}$$

$$V_c = \pi \cdot R_c^2 \cdot H_c \text{ - volumul interior al cilindrului cu raza } R_c \text{ și înălțimea } H_c;$$

$$A_c = 2\pi \cdot R_c \cdot H_c \text{ - aria laterală a cilindrului.}$$

Din cele ce preced rezultă că aria pe unitatea de volum pentru cele două corpuri este:

$$\frac{A_s}{V_s} = \frac{3}{R_s} \text{ - pentru învelișul sferic;}$$

$$\frac{A_c}{V_c} = \frac{2}{R_c} \text{ - pentru învelișul cilindric.}$$

Pentru ambele învelișuri, cu creșterea razei se micșorează aria suprafeței laterale raportată la unitatea de volum interior.

Datorită și unei stări de solicitare mai avantajoase a învelișului sferic, în comparație cu celelalte învelișuri, rezultă că prin utilizarea formei sferice se poate face economie de metal. Comparația economică arată că, la același volum și la aceeași presiune interioară, consumul de metal pentru rezervorul sferic este de aproximativ 55...60% din consumul de metal pentru rezervorul cilindric. Deși din punct de vedere tehnic este mai dificil de executat decât rezervorul cilindric, totuși pentru volume relativ mari, învelișul sferic este mai avantajos.

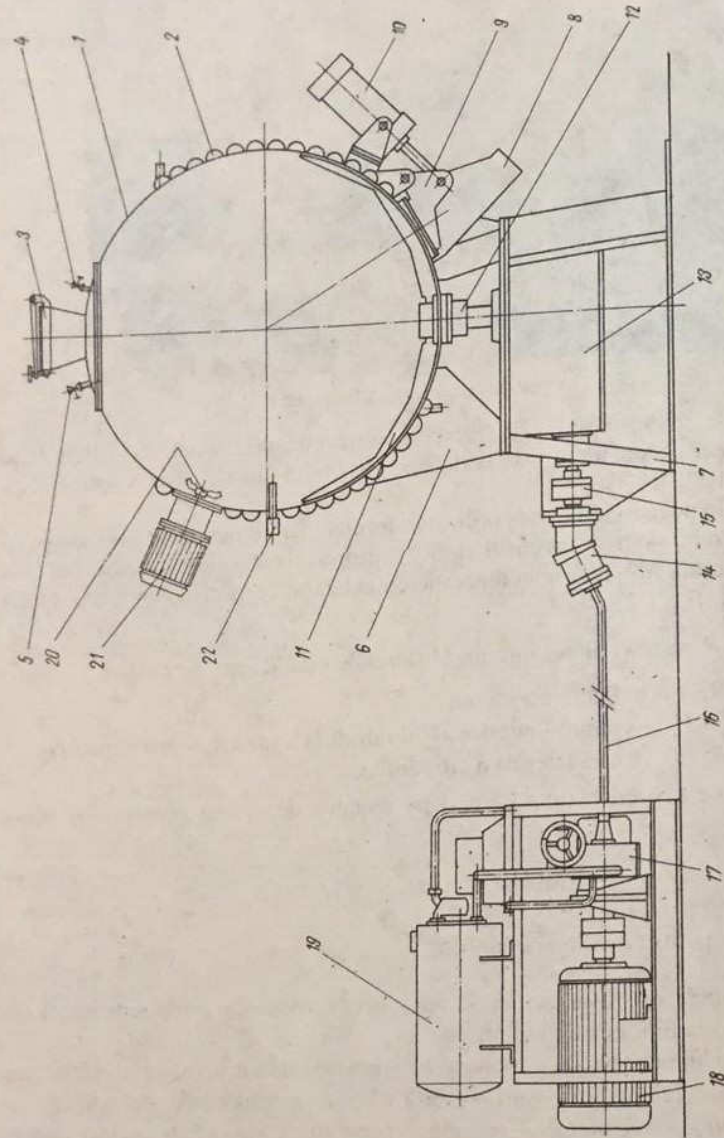


Fig. 1.6. Recipient sferic cu dispozitiv de amestecare:

1 - recipient sferic; 2 - serpentină de încălzire din jumătăți de țevă; 3 - gură de alimentare; 4 - racord pentru supapă; 5 - robinet; 6 - suport rezervă; 7 - suport; 8 - racord de golire; 9 - ușa basculantă; 10 - cilindru pneumatic; 11 - dispozitiv de etanșare cu inele alungelungite; 12 - rezervor; 13 - reductor; 14 - motor hidrolic; 15 - cuplaj; 16 - conductă; 17 - pompă; 18 - motor electric; 19 - rezervor; 20 - dezintegrator rapid; 21 - motor; 22 - termocuplu.

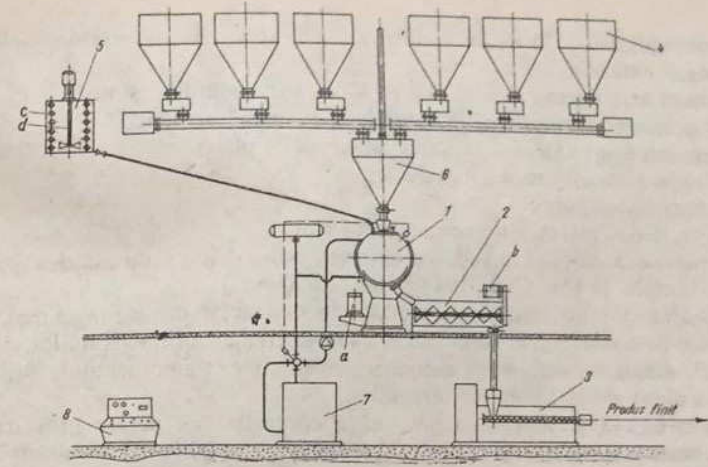


Fig. 1.7. Instalație pentru plastifiere:

1 - recipient sferic cu cămașă de încălzire și cu dispozitiv de amestecare antrenat de un motor electric *a*; 2 - malaxor-transportor cu melc, antrenat de motorul electric *b*; 3 - mașină de extrudare; 4 - buncăr de alimentare pentru substanțe pulverulente; 5 - recipient cu dispozitiv de amestecare, *d* pentru prepararea plastifiantului (*c* - serpentină de încălzire); 6 - buncăr de alimentare a recipientului *1*; 7 - instalație de încălzire; 8 - tablou pentru comanda instalației de plastifiere.

Rezervoarele sferice se utilizează pentru depozitarea gazelor sub presiune, precum și pentru depozitarea gazelor lichefiate (propan, butan, propilenă, azot, amoniac etc.).

Au fost realizate rezervoare sferice cu volum interior de 100 m^3 ($D_i = 5,8 \text{ m}$) până la $55 000 \text{ m}^3$ ($D_i = 47,300 \text{ m}$). Se realizează în mod curent rezervoare sferice cu volume de $1 000 \text{ m}^3$ ($D_i = 12,440 \text{ m}$); $1 500 \text{ m}^3$ ($D_i = 14,240 \text{ m}$); $2 000 \text{ m}^3$ ($D_i = 15,660 \text{ m}$); $3 200 \text{ m}^3$ ($D_i = 18,300 \text{ m}$) și $4 000 \text{ m}^3$ ($D_i = 19,800 \text{ m}$). Grosimea peretelui rezervorului sferic depinde de presiunea interioară pentru care a fost proiectat (0,8; 1,1; 1,7; 2,1 MPa).

Datorită avantajelor tehnice și economice, forma sferică a început să fie utilizată în ultimul deceniu și pentru recipientele prevăzute cu dispozitiv de amestecare (fig. 1.6). Figura 1.7 redă încadrarea unui recipient sferic, cu dispozitiv de amestecare, într-o instalație pentru plastifiere. Rezultă de aici utilizarea, pentru echipamentul tehnologic, și a altor forme geometrice: cilindrică și conică.

Forma conică se utilizează pentru a ușura descărcarea din buncăre (4 în figura 1.7), rezervoare sau recipiente, pentru a realiza trecerea de la un înveliș cilindric de un diametru dat, la un altul de diametru mai mic sau mai mare. Forma conică se mai utilizează însă și în componența unor aparate pentru încorporarea unor lichide în pulberi, pentru amestecarea sau pentru uscarea sub vid a pulberilor.

1.5.2. Corpurile cu perete gros în construcția utilajului tehnologic

Corpurile cu perete gros cilindric, utilizate întâi în domeniul artileriei ca țevi de tun, au căpătat apoi o deosebită importanță în numeroase ramuri ale industriei și îndeosebi în industria chimică. O dată cu dezvoltarea tehnicii presiunilor înalte corpurile cu pereți groși au căpătat o utilizare din ce în ce mai largă.

Dintre aplicațiile la scară industrială ale tehnicii presiunilor înalte se menționează următoarele:

- sinteza amoniacului; sinteza ureei; sinteza metanolului; sinteza unor combustibili; polimerizarea etilenei la polietilenă de înaltă presiune;
- extrudarea, injectarea și presarea materialelor plastice;
- extrudarea hidrostatică a metalelor;
- sinteza diamantului;
- energetica nucleară și termoenergetică etc.

Polimerizarea etilenei în vederea obținerii polietilenei de joasă densitate se face, de exemplu, la 150...200 MPa (1 500...2 000 bari).

Realizarea de instalații cu capacități de producție din ce în ce mai mari, determinate de considerente economice, a dus la creșterea dimensiunilor utilajelor. Astfel, diametrul interior al coloanei pentru sinteza amoniacului, inițial de 700 mm, a ajuns azi la 2 000...3 500 mm.

Proiectarea, ca și realizarea practică a corpurilor cu perete gros trebuie făcute cu mare grijă și sub un control sever deoarece avariile acestora sunt întotdeauna urmate de consecințe grave. Pe lângă realizarea corpului propriu-zis al reactorului de înaltă presiune se pun probleme specifice și cu privire la rezemarea acestuia și la prinderea de el a amenajărilor interioare (fig. 1.8).

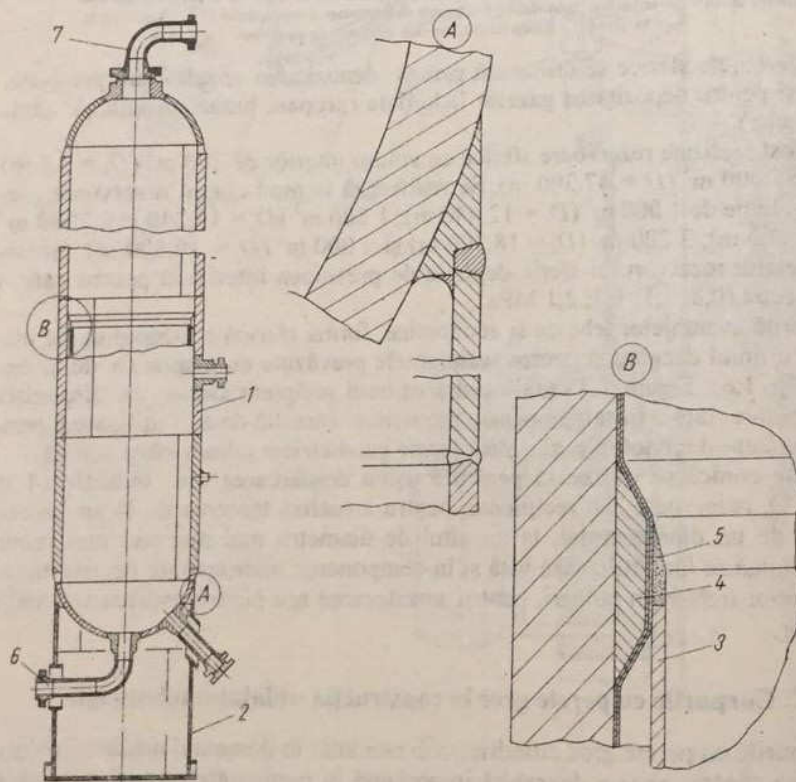


Fig. 1.8. Reactor de înaltă presiune:

1 - corp cilindric cu perete gros; 2 - vîrolă de rezemare; 3 - manta interioară pentru fixarea amenajărilor interioare ale reactorului; 4, 5 - mel depus prin topire din electrod; 6 - record inferior; 7 - record superior

În cazul preselor, de exemplu, utilizarea presiunilor înalte rezultă din considerente practice, constructive și economice: presiunea înaltă permite să se obțină forțe mari la gabarite relativ mici.

În energetica nucleară ca și în termoenergetică tendința actuală este de a lucra deasupra punctului critic al apei; tendința este către presiuni de 30 MPa și temperaturi de 450...600°C.

În tehnologia chimică, de exemplu, există procese fizico-chimice care sunt posibile numai la presiuni mari. Au fost efectuate polimerizări ale stirenului la 400 MPa și ale metacrilatului de metil (în scopul obținerii polimetacrilatului de metil) la 500 MPa. Polimerizarea izoprenului a fost efectuată la presiuni foarte înalte, de 1 200 MPa. Alți compuși au fost obținuți la presiuni de 1 700 MPa.

Sinteza unor minerale are loc la presiuni de ordinul zecilor de mii de atmosfere. Sinteza diamantului s-a efectuat la 10 000 MPa (10⁵ at) și chiar mai mult, iar în laborator au fost obținute deja presiuni de ordinul 10⁵ MPa (10⁵ at), cât se apreciază că ar fi presiunea în centrul Pământului. Asemenea presiuni se obțin în celule de dimensiuni foarte mici.

La nivel industrial presiunile de regim cele mai mari, cu rare excepții, depășesc 300 MPa.

Pornind de la dezideratul realizării unor corpuri de înaltă presiune, economice, s-a trecut în ultimul timp, la înlocuirea corpurilor cilindrice cu corpuri sferice cu perete gros, deoarece starea de tensiuni la corpurile sferice cu perete gros este mai avantajoasă decât la cele cilindrice. Aceasta duce, în cazul corpurilor sferice, la un consum mai redus de metal.

1.6. SOLICITAREA UTILAJELOR TEHNOLOGICE. GROSIMEA PERETELUI

Părțile componente ale utilajelor tehnologice sunt solicitate, în timpul funcționării, de forțe determinate de:

- *parametrii de regim*: presiune interioară, p_i , sau exterioară p_e ; variația temperaturii sau diferență de temperatură;
- *greutatea proprie a utilajului*: greutatea unor elemente a căror poziție poate suferi modificări (dispozitive de ridicat și de acces, conducte etc.);
- *sarcini climatice*: presiunea vântului, greutatea zăpezii, temperatura mediului ambiant;
- *cedări ale sistemului de rezemare, ale fundației sau ale terenului* pe care este amplasată fundația;
- *încărcări accidentale provocate de explozii sau de solicitări seismice* (cutremure).

Stabilirea grosimii s a peretelui ține seama atât de solicitările de natură mecanică sau termică, enumerate mai sus, cât și de acțiunea corosivă sau erozivă a mediului din interiorul sau din exteriorul utilajului. În general

$$s^* = \delta + e_1 + e_2 \quad (1.2)$$

în care:

δ este grosimea teoretică rezultată din calculul la solicitări mecanice;

c_1 - adaosul de coroziune. c_1 este grosimea de metal care se pierde prin coroziune (sau eroziune) pe durata n_c , exprimată în ani, de funcționare a utilajului. Dacă, de exemplu, coroziunea este uniformă pe toată suprafața și se face cu o viteză v_c , exprimată în mm/an, atunci

$$c_1 = v_c \cdot n_c \quad (1.3)$$

Viteza de coroziune arată câți milimetri din grosimea metalului se corodează într-un an. De exemplu, dacă $v_c = 0,1$ mm/an și $s = 10$ mm înseamnă că după un an grosimea scade cu 0,1 mm, încât s devine $s' = 9,9$ mm, după doi ani devine $s'' = 9,8$ mm, ș.a.m.d.;

c_r - este adaosul de rotunjire până la valoarea întreagă a grosimii tablei. Dacă δ rezultă, de exemplu, 5,6 mm și $c_1 = 2$ mm, atunci suma lor va fi de 7,6 mm. Deoarece tablele au grosimi standard, valori întregi (4; 5; 6; 7; 8; 9 mm etc.) se rotunjește valoarea obținută prin calcul (7,6 mm) până la următoarea valoare întreagă (8 mm). În acest caz $c_r = 0,4$ mm.

În utilajele tehnologice ale industriei chimice sunt adesea transportate substanțe corosive, substanțe inflamabile, substanțe toxice sau substanțe letale. În asemenea situații, utilajele trebuie să fie bine etanșate și protejate împotriva fisurării sau ruperii. Ținând seama de efectele, uneori dezastruoase, ale fabricării incorecte a utilajelor, sau ale exploatării necorespunzătoare a acestora, rezultă *responsabilitatea morală și juridică a acelor care se ocupă de construcția și de exploatarea utilajelor tehnologice.*

1.7. MATERIALE UTILIZATE PENTRU CONSTRUCȚIA UTILAJULUI TEHNOLOGIC

Industria de proces se caracterizează printr-o mare varietate de produse, bazate pe tehnologii de proces diferite. În procesele tehnologice corespunzătoare acestor industrii, parametrii de regim ai utilajelor sunt de asemenea de o mare diversitate: se întâlnesc presiuni de la vid înaintat la mii de atmosfere (sute de MPa), temperaturi de la valori apropiate de 0° K, la mii de °K. Substanțele prelucrate în instalațiile de proces (lichide, gazoase sau solide) sunt adesea puternic corosive sau abrazive. Aceasta poate provoca corodarea sau erodarea unor materiale. Unele dintre substanțele prelucrate, îndeosebi în industriile chimică și petrochimică sunt inflamabile, toxice, letale sau explozive.

Varietatea mare de condiții de lucru, face ca în aceste industrii să fie utilizate practic aproape toate materialele existente în prezent.

Au fost elaborate un mare număr de materiale care pot fi împărțite în următoarele categorii principale:

- materiale pentru asigurarea rezistenței mecanice sau a rigidității necesare a utilajelor. Se includ și materialele pentru îmbinări sudate;

- materiale pentru protecție anticorosivă sau antierozivă;

- materiale de etanșare;

- materiale pentru izolare termică.

Fiecare asemenea categorie de material cuprinde, de regulă, câteva subdiviziuni; fiecare subdiviziune conține mai multe grupe de materiale, iar fiecare grupă de materiale mai multe mărci de materiale.

De exemplu, în categoria materialelor pentru rezistență mecanică sunt următoarele subdiviziuni:

- materiale metalice feroase (oțeluri și fonte);

- materiale metalice neferoase;

- materiale nemetalice;

- materiale compozite.

În subdiviziunea materialelor feroase se găsesc mai multe grupe de materiale (oțeluri și fonte):

- pentru temperaturi obișnuite;

- pentru temperaturi ridicate;

- pentru temperaturi negative (sub 0°C);

- rezistente la coroziune sau la eroziune.

Denumirea grupei în cuprinsul unei subdiviziuni arată caracteristica distinctivă a materialelor care o compun. Un material rezistent la coroziune poate fi totodată rezistent la temperaturi ridicate și coborâte.

În cuprinsul fiecărei grupe de materiale feroase se găsesc mai multe mărci de materiale, separat pentru oțeluri și separat pentru fonte. Fiecare asemenea marcă de material are un *symbol* care provine din standardele în care este încadrat. Materialele se marchează prin vopsire. Marcarea oțelurilor, de exemplu, se face cu un cerc care se vopsește cu o anumită culoare (alb, galben, roșu, negru, albastru, gri etc.) sau cu dungă de diferite culori, în funcție de STAS-ul din care face parte oțelul.

Uneori în cuprinsul aceluiași STAS se găsesc mărci de materiale care corespund de fapt unor grupe diferite. Aceasta se datorește faptului că materialele sunt grupate în standarde fie în funcție de compoziția chimică (de exemplu: oțel carbon obișnuit STAS 500; oțel carbon de calitate STAS 880; oțel aliat pentru construcția de mașini STAS 791), fie în funcție de destinație (de exemplu, oțeluri pentru țevi STAS 2881; oțeluri pentru arcuri STAS 795), fie în funcție de forma de prezentare (de exemplu: oțeluri sub formă de table groase pentru cazane și recipiente sub presiune, STAS 2883; electrozi și benzi pentru îmbinări sudate; piese laminate sau turnate).

Mărcile de material se găsesc ca *semifabricate* sub diverse forme. De exemplu, semifabricatele din oțel sunt: oțel pătrat laminat la cald (STAS 334); oțel lat (STAS 395); oțel rotund (STAS 333); oțel cornier cu laturi egale (STAS 424); oțel T (STAS 566); oțel cornier cu laturi neegale (STAS 425); oțel I (STAS 565); oțel U (STAS 564); table groase (STAS 437); țevi pentru instalații (STAS 5560) etc.

O marcă de material, ca semifabricat, nu se găsește sub forme diferite, deoarece, în general, materialele se elaborează cu scopuri bine precizate (pentru

table, pentru arcuri, pentru țevi, pentru scule, pentru piulițe, pentru prelucrarea pe strunguri automate, pentru rulmenți etc.).

Prin urmare, sortimentul de mărci și sortimentul de semifabricate este limitat.

Pentru fiecare formă de semifabricat se elaborează un anumit număr de dimensiuni care se precizează în STAS. Tablele se elaborează cu abateri în minus (negative) ale grosimii. Valoarea abaterii negative depinde de grosimea tablei. Aceasta este de - 0,5 mm pentru table cu grosimi mai mici de 5 mm și de maximum - 1,5 mm pentru table cu grosimea de peste 60 mm.

Una dintre problemele importante în construcția utilajului tehnologic o constituie alegerea corespunzătoare a materialului de construcție. *Materialul trebuie să corespundă din punct de vedere tehnic* (deci să reziste condițiilor de funcționare ale utilajului) și să fie cât mai *ieftin* (deci să fie o alegere economică). Alegerea materialului se face pe baza unui studiu tehnico-economic.

Materiale pentru rezistență mecanică

1.7.1. Materiale metalice feroase

Fierul sub formă tehnic pură nu se utilizează pentru partea de rezistență a utilajelor tehnologice, deoarece are plasticitate mare și este scump. Fierul este utilizat în industrie în general sub forma *aliajelor* sale: oțelul și fonta. Materialele feroase sunt aliaje ale fierului cu carbonul. Pe lângă fier și carbon, fontele și oțelurile mai conțin și alte *elemente de aliere*, ca: crom, nichel, mangan, vanadiu, molibden, siliciu, titan, niobiu, fosfor etc. Natura elementelor de aliere și procentul acestora în oțel sau în fontă determină caracteristicile fizice ale aliajului: rezistență mecanică la temperaturi ridicate sau coborâte, rezistență la coroziune sau la eroziune etc.

Oțelurile sunt aliaje ale fierului cu carbonul, în care conținutul de carbon este sub 2,06%. În oțel, carbonul se separă fie ca atare, sub formă de grafit, fie sub formă de carburi (de fier, de crom etc.). În oțelurile de construcție conținutul de carbon nu depășește 0,7%.

În funcție de compoziția chimică, oțelurile se subîmpart în:

- oțeluri carbon (fără elemente de aliere, în afară de fier și carbon);
- oțelurile aliate (pe lângă fier și carbon mai conțin și alte elemente de aliere). După procentul elementelor de aliere aceste oțeluri pot fi slab, mediu sau înalt aliate.

Cu creșterea conținutului de carbon se înrăutățește sudabilitatea oțelului. În oțelurile pentru sudură conținutul de carbon se recomandă să fie sub 0,3% pentru oțelurile carbon și sub 0,2% pentru oțelurile aliate.

Oțelurile cu conținut mic de carbon (sub 0,2%) se ștanțază și se ambutează ușor, se cimentează și se nitruază bine, însă se prelucrează greu prin așchiere.

Fiecare instalație tehnologică impune oțelurilor condițiile sale specifice. Din acest motiv, de exemplu la instalațiile pentru obținerea acidului azotic se utilizează calități de oțeluri diferite de cele necesare la realizarea cazanelor de abur etc.

Proprietățile mecanice și tehnologice ale oțelurilor variază de la o marcă de oțel la alta. Densitatea oțelurilor la 20°C este în medie, $\rho = 7\,871 \text{ kg/m}^3$. Temperatura de topire a oțelurilor este cuprinsă între 1 400 și 1 500°C. Caracteristicile mecanice care interesează din punct de vedere practic sunt: limita de curgere notată cu σ' sau R' ; rezistența de rupere, notată σ'_r sau R'_r , ambele la temperatura t , precum și alungirea la rupere, A_r . Pentru temperaturi negative interesează reziliența, notată KCU sau KCV, pe când pentru temperaturi foarte mari este necesară cunoașterea unor caracteristici mecanice similare cu R'_r și R'_r .

Oțelurile carbon conțin ca elemente de aliere numai fier și carbon. În compoziția oțelului carbon se găsesc însă mangan și siliciu, sub 1%, rezultate din procesul tehnologic de elaborare a oțelului, precum și unele impurități ca sulf, fosfor, cupru.

Din categoria oțelurilor carbon fac parte:

- oțelurile carbon, conform STAS 500, au simbolul OL urmat de cifre care arată valoarea rezistenței de rupere la tracțiune la 20°C.

- oțelurile carbon de calitate, conform STAS 880 cu simbolul OLC urmat de două cifre care exprimă procentul de carbon conținut de oțel. De exemplu OLC 25 înseamnă oțel carbon de calitate cu 0,25% conținut mediu de carbon:

- oțeluri carbon (și slab aliate) conform STAS 2883, pentru table destinate construcției de recipiente sub presiune și pentru cazane. Sunt cuprinse aici mărci de oțel pentru temperaturi negative (notate cu R) și mărci de oțel pentru temperaturi ridicate (simbol K). Simbolul este urmat de cifre care indică rezistența minimă de rupere la tracțiune și de un simbol format dintr-o cifră și o literă care indică clasa de calitate. De exemplu:

R 44, 4b, înseamnă oțel pentru temperaturi negative cu rezistență de rupere la tracțiune de 44 daN/mm², din clasa 4b de calitate. Oțelurile R se utilizează între - 50° C și + 350° C;

- oțeluri carbon turnate conform STAS 600 se notează cu simbolul OT urmat de cifre care arată valoarea rezistenței de rupere la tracțiune.

Cu creșterea temperaturii se micșorează caracteristicile de rezistență ale oțelurilor carbon. În general, la temperaturi de peste 350° C se recurge la oțeluri aliate.

Oțelurile slab aliate conțin 2 ... 5% elemente de aliere (altele decât fier și carbon).

În condiții de coroziune puternică, sau la temperaturi foarte coborâte se utilizează oțeluri aliate (medii și înalt aliate), conform STAS 791, oțeluri aliate turnate în piese, conform STAS 600, STAS 685. O categorie aparte, specifică construcției de utilaj chimic o formează *oțelurile anticorozive și refractare*, conform STAS 3583, oțeluri înalt aliate. Dintre acestea, mărcile de *oțeluri austenitice* (care au în medie 18 ... 20% crom și 8 ... 10% nichel) se utilizează sub formă de table din care se construiesc recipiente prin violare (pe valț), urmată de sudare.

Oțelurile austenitice (denumite și de tip 18/8, Cr/Ni) se simbolizează astfel încât să se pună în evidență principalele elemente de aliere. De exemplu, *simbolul 7 TNC 180* arată că oțelul austenitic corespunzător conține 0,07% C (de la cifra 7); T - conține titan; N - conține nichel; C - conține crom, în medie 18% (ultimele cifre, 180, indică conținutul de crom în zecimi de procente).

Oțelurile austenitice sunt nemagnetice. Ele sunt tratate termic la uzina producătoare.

În prezent, în uzinele constructoare din țara noastră, se utilizează și oțeluri austenitice străine. Oțelurile austenitice stabilizate germane W.1.4541 (după DIN 17440) echivalent cu 10 TNC 180 și W.1.4571 (DIN 17440) echivalent cu 8 TMoNC 180 (care conține 0,08% carbon și, în plus, 1,8 – 2,2% molibden, simbol Mo).

Oțelurile austenitice se matrițează și se prelucrează mecanic bine, se sudază ușor, în schimb sunt sensibile la ecruisare (deformare la rece). După ecruisare scade rezistența la coroziune a oțelului.

Oțelurile austenitice pot fi utilizate la temperaturi cuprinse între -250°C și $+900^{\circ}\text{C}$.

Pentru a face economie de oțeluri înalt aliate (care conțin elemente de aliere scumpe și deficitare: crom, nichel), au fost realizate *table din oțel placat*. Acestea rezultă prin laminarea la cald, împreună, a două table: una mai groasă din oțel carbon (de grosime s_1), alta mai subțire din oțel înalt aliat (de grosime s_2). Tabla are grosimea totală (fig. 1.9),

$$s = s_1 + s_2, \quad (1.4)$$

în care grosimea materialului de placare:

$$s'' = 0,1 s, \quad (1.5)$$

însă minim 1,5 mm.

În prezent, tablele din oțel carbon se plachează cu: oțel austenitic, cu cupru sau aliaje de cupru, cu tablă de nichel și aliaje ale acestuia (de exemplu monel); cu tablă de aluminiu etc.

Grosimea s_1 a oțelului carbon are rolul de a rezista la solicitările de natură mecanică, iar grosimea s_2 a stratului de placare are rolul de a rezista la coroziune sau la eroziune.

Fontele. În prezent, pentru utilajul tehnologic se recurge la fonte sau la alte materiale decât oțelul laminat, numai în cazuri bine justificate.

Fontele sunt aliaje ale fierului și carbonului în care conținutul de carbon depășește 2,06%. În general, conținutul de carbon în fontă este de 2,06 ... 4,5%. Fonta mai conține însă și unele elemente de adaos ca siliciu, mangan și molibden.

Utilizarea fontelor este supusă unor restricții. Piesele din fontă se utilizează numai tratate termic. Fonta nu se utilizează, de exemplu, pentru fabricarea recipientelor care conțin substanțe letale, toxice, explozive sau inflamabile, sau dacă temperatura peretelui recipientului este sub 0°C etc. ...

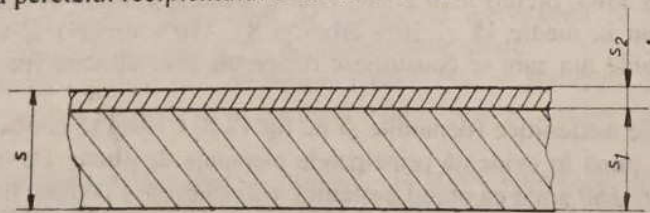


Fig. 1.9. Tablă din oțel placat.

Fontele rezistă cel mai bine la solicitări de compresiune. Rezistența de rupere la compresiune este de 3 ... 5 ori mai mare decât rezistența de rupere la tracțiune. Rezistența de rupere a fontelor utilizate pentru recipiente sub presiune trebuie să fie de minim 150 MPa la tracțiune și de minim 320 MPa la încovoiere.

După compoziția chimică și aspectul structurii fontei se disting mai multe mărci de fonte grupate astfel: fonte cenușii (STAS 568); fonte cu grafit nodular (STAS 6171); fontă maleabilă (STAS 569); fonte aliate.

Fontele cenușii au simbolul F_c , sunt relativ ieftine, ceea ce le-a făcut să fie mult utilizate. Se toarnă ușor și se prelucrează bine prin așchiere. Au însă stabilitate chimică slabă față de acțiunea corozivă a substanțelor chimice. Fontele cenușii nu se forjează și nu se matrițează, neavând plasticitate. Fonta cenușie se topește la $1250 \dots 1280^{\circ}\text{C}$.

Fontele cu grafit nodular, simbol F_{gn} , numite și fonte ductile, se caracterizează prin rezistență la uzură.

Fontele maleabile, simbol F_m , se obțin prin decarburarea fontei albe și se folosesc la turnarea unor piese complexe ca armături mici, piese de legătură pentru țevi (coturi, reductii, teuri, piulițe olandeze etc.).

Prin aliere cu nichel, crom, molibden, siliciu și altele, fontele devin rezistente la temperaturi ridicate și la acțiunea agenților corosivi. Fontele cu 30% crom, de exemplu, pot fi utilizate până la temperaturi de 1200°C și sunt rezistente la acțiunea corozivă a acidului azotic și a sărurilor acestuia; este de asemenea, rezistentă la uzură.

Fontele austenitice, cu 19% crom și 9% nichel, pot fi utilizate până la 1000°C ; ele rezistă la acțiunea unor substanțe puternic corosive.

Pentru temperaturi cuprinse între 400 și 1000°C pot fi folosite fontele refractare, conform STAS 6706. Simbolul fontelor refractare este F_r .

1.7.2. Metale neferoase

Dintre metalele neferoase în construcția de utilaj tehnologic pentru elemente portante, se utilizează: cuprul și aliajele sale (între -200 și $+200^{\circ}\text{C}$); aluminiul și aliajele sale (în stare turnată între -200 și $+200^{\circ}\text{C}$, iar în stare laminată între -270 și $+200^{\circ}\text{C}$); nichelul și aliajele sale (între -200 și $+600^{\circ}\text{C}$); titanul (între -60 și $+300^{\circ}\text{C}$), tantalul (până la $+1200^{\circ}\text{C}$).

Cuprul, sub formă de table de $0,1 \dots 5$ mm, conform STAS 426 se utilizează în stare recoaptă. Densitatea cuprului este $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$, temperatura de topire 1083°C și temperatura de turnare 1150°C .

Aluminiul este rezistent la acțiunea multor agenți corosivi (acid azotic concentrat, acid acetic, acid fosforic, acid clorhidric etc.), datorită proprietății sale de a forma o peliculă protectoare de oxid. Aluminiul se toarnă și se prelucrează mecanic greu. Lipirea și sudarea aluminiului este îngreunată de prezența peliculei de oxizi. Are plasticitate mare, ceea ce ușurează prelucrarea lui prin deformare, atât la cald, cât și la rece. El are în schimb densitatea mică, $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$ și conductivitate termică de 4,5 ori mai mare decât a oțelului. Temperatura de turnare a aluminiului este în jur de 700°C , iar temperatura de prelucrare la cald și de recoacere este de $350 \dots 400^{\circ}\text{C}$.

Nichelul are densitate $\rho = 8\,900\text{ kg/m}^3$, temperatura de topire $1\,452^\circ\text{C}$ și temperatura de turnare $1\,550^\circ\text{C}$. Nichelul are o mare rezistență chimică. Se utilizează uneori în locul oțelurilor anticorozive austenitice (18/8, Cr/Ni), precum și pentru construcția aparatelor din industria farmaceutică și din industria alimentară, în cazul în care se cere o puritate maximă a produsului.

Se folosesc, de asemenea, *aliajele de nichel*: monel (cu 65 ... 70% nichel și cobalt, cu 31 ... 26% cupru, 1,2 ... 1,8% mangan și 3 ... 2% fier); inconel (cu 80% nichel, 14% crom și 6% fier).

Titanul are caracteristici mecanice comparabile cu ale oțelului, în schimb este mai ușor, având densitatea $\rho = 4\,500\text{ kg/m}^3$. Titanul se forjează, se matrițează și se ștanțează ușor; se prelucrează mecanic satisfăcător. Deoarece la temperaturi mai mari de 200°C începe să absoarbă gaze, sudarea titanului se execută cu electrozi de wolfram în mediu protector de argon. Obiectele din titan sunt de 8 ... 10 ori mai scumpe decât cele din oțel austenitic de tip 18/8, Cr/Ni.

Tantalul are densitatea $\rho = 16\,600\text{ kg/m}^3$, rezistență mecanică mare și este greu fuzibil; se topește la $3\,000^\circ\text{C}$. Din acest motiv tantalul se sudează greu. Este deosebit de rezistent față de mediile corosive. Rezistă la acțiunea acidului clorhidric în fierbere, la acțiunea apei regale, a nitraților etc. Tantalul este deosebit de scump, și anume, de aproximativ 100 ori mai scump decât oțelul anticorosiv.

Argintul se folosește pentru unele aparate din industria farmaceutică și în industria reactivilor de sinteză.

1.7.3. Materiale nemetalice

Pentru partea de rezistență (portantă) a utilajelor se utilizează numai în mod excepțional unele materiale nemetalice ca: lemn, grafit, materiale plastice, materiale plastice armate cu fibre de sticlă sau de carbon etc.

Astfel, grafalul (grafit îmbibat cu lac de bachelită) – se utilizează pentru construcția unor schimbătoare de căldură.

Policlorura de vinil, materialele plastice acrilice (polimetacrilat de metil, numit și plexiglas), poliolefinele (polietilena și polipropilena); unele poliamide, se utilizează pentru țevi și recipiente de dimensiuni relativ mici.

Unele recipiente de depozitare de dimensiuni mari, coloane etc. se realizează din rășini poliesterice sau epoxidice armate cu fibre de sticlă. Utilizarea materialelor plastice armate capătă o tot mai mare extindere. În țara noastră recipiente din rășini poliesterice armate cu fibre de sticlă se construiesc la întreprinderea de utilaj chimic Făgăraș și la Anticorosivul București.

1.7.4. Materiale pentru protecție anticorozivă

Unele utilaje se căptușesc la interior cu materiale rezistente la coroziune. Se utilizează în acest scop atât materialele metalice (oțel anticorosiv, nichel, titan, tantal, staniu, plumb, zinc), cât și materiale nemetalice (cărămizi antiacide, cauciuc, plăci sau benzi din diferite materiale plastice).

De exemplu, plumbul tehnic (STAS 664) este rezistent la acidul sulfuric și la sărurile acestuia. El se utilizează pentru căptușirea aparatelor prin care circulă acid sulfuric. La fel, tantalul, fiind foarte scump, se utilizează cu precădere sub formă de foițe subțiri (gen „staniol”) pentru căptușirea utilajelor.

Cauciucul, livrat sub formă de benzi, servește pentru căptușirea utilajelor (gumare) împotriva coroziunii și a eroziunii. Benzile de cauciuc crud se lipesc pe suprafața interioară a utilajului, după care are loc vulcanizarea cauciucului cu abur cald sau cu apă fierbinte.

1.7.5. Materiale de etanșare

Îmbinările demontabile ale recipientelor sub presiune se prevăd cu garnituri de etanșare. Acestea trebuie să asigure etanșarea mediului aflat sub presiune în interiorul recipientului. În acest scop garnitura trebuie să fie *elastoplastică*; aceasta permite deformarea garniturii și umplerea microasperităților suprafețelor de etanșare.

La alegerea materialului garniturii se ține seama de valorile parametrilor de regim (temperatură, presiune) și de natura fluidului etanșat.

Ca materiale de etanșare se utilizează, după caz: cartonul, azbestul, cauciucul natural sau cauciucul sintetic, policlorura de vinil plastifiată, politetrafluoretilena (teflonul), politriclorfluoretilena (sau hostaflonul), poliamidă, marsit etc. Pentru presiuni înalte se utilizează fier tehnic pur și metale neferoase ca: aluminiu, cupru, plumb.

Cartonul se utilizează în general, la presiuni sub 0,1 MPa și temperaturi sub 100°C .

Cauciucurile se împart în două grupe: nerezistente la uleiuri și hidrocarburi (cauciucul natural, cauciucul butilic etc.) și rezistente la uleiuri și hidrocarburi (cauciuc siliconic, nitrilic, uretanic, fluorsiliconic etc.). Cauciucurile sunt incompatibile cu gazele lichefiate (oxigen, azot, metan, bioxid de carbon etc.).

Marsitul (din azbest cu liant pe bază de elastomeri) se livrează sub formă de plăci (STAS 3498), în mai multe sorturi. Sortul Marsit armat 3, poate fi utilizat până la temperaturi de 600°C și presiuni de 100 MPa.

Se realizează de asemenea garnituri mixte, combinații între un înveliș din foi subțiri de metal (0,1–0,2 mm) și un miez moale, de exemplu din azbest.

Pentru cutiile de etanșare se utilizează șnur din fire de cânepă, de bumbac sau de azbest, sau inele de teflon, inele din azbest grafitat etc.

2.

RECIPIENTE SUB PRESIUNE

Recipientele sub presiune se utilizează în industriile de proces pentru păstrarea și depozitarea diferitelor substanțe solide, lichide sau gazoase, precum și pentru scopuri tehnologice. Recipientele sunt vase închise etanș care în general lucrează sub presiune sau sub depresiune (vid); unele recipiente lucrează la presiune atmosferică.

Recipientele sub presiune pot fi fixe sau transportabile (butelii, cisterne auto sau de cale ferată). În toate cazurile, proiectarea, construcția, reparația și exploatarea lor sunt supuse unor prescripții și instrucțiuni obligatorii, a căror aplicare este controlată de Inspectoratul de Stat pentru Cazane și Instalații de Ridicat (ISCIR).

După poziția în spațiu, recipientele cilindrice pot fi orizontale, verticale sau înclinate (mai rar), cu sau fără manta de încălzire. După procedeul de fabricare, recipientele pot fi: sudate, turnate, forjate, înfășurate din tablă și, mai rar, lipite sau nituite.

Din punct de vedere al temperaturii pereților ele pot fi: răcite, neîncălzite și încălzite.

După procedeul de asamblare a unora dintre elementele componente (capac, manta de încălzire), ele pot fi demontabile sau nedemontabile.

Din punct de vedere al presiunii de lucru, recipientele sub presiune pot fi de joasă, de medie sau de înaltă presiune. În general, corpul principal al unui recipient de joasă presiune poate fi un înveliș ($\beta \leq 1,2$). Corpul principal al recipientelor de înaltă presiune (zeci de MPa), în general, este un corp cu perete gros.

2.1. CONSTRUCȚIA RECIPIENTELOR CU PERETE SUBȚIRE

Categoria cea mai răspândită de recipiente sub presiune o reprezintă recipientele fabricate din laminare de oțel carbon. Numai în cazuri foarte bine justificate se utilizează recipiente turnate sau din alte materiale decât oțelul.

Un recipient cilindric sub presiune, în general, se compune din (fig. 2.1) corpul cilindric 1, fundul recipientului 2, capacul 3 asamblat demontabil cu corpul 1, prin intermediul flanșelor 4 și a șuruburilor 5, racordul de evacuare 6, mantaua de încălzire 7, prevăzută cu racordurile 8 și 9. Rezemarea recipientului se poate face fie pe reazeme laterale, 10, fie pe reazeme de fund, 11. Pe capacul 3

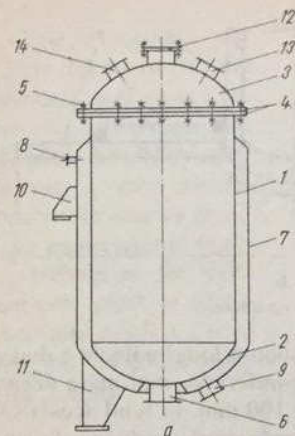


Fig. 2.1. Recipient cilindric sub presiune.

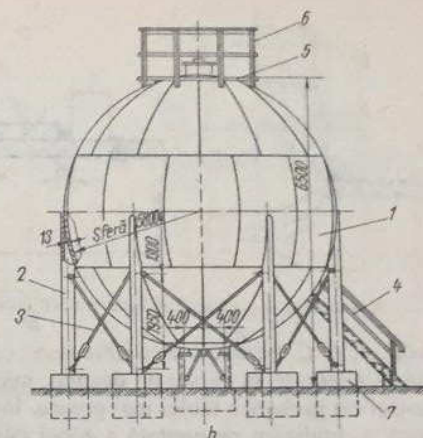


Fig. 2.2. Recipient sferic sub presiune:
1 - corpul recipientului, 2 - stâlpi de rezemare, 3 - tiranți de pretensionare, 4 - scară, 5 - platformă, 6 - balustradă a platformei, 7 - bloc de fundație.

(iar uneori și pe corpul 1 al recipientului) se prevede gura de vizitare 12, precum și un anumit număr de racorduri (13, 14) impuse de procesul fizico-chimic din recipient.

Un recipient sferic sub presiune de mare capacitate (fig. 2.2) se compune din: corpul recipientului 1, sistemul de rezemare 2, cu tendoanele de pretensionare, 3, și din amenajările exterioare 4-6 (scări, platformă, balustradă), care permit accesul la gura de vizitare și racordurile aflate în partea superioară. Numărul racordurilor care străbat corpul recipientului sferic depinde de destinația acestuia.

2.1.1. Corpul cilindric sau conic

Corpul cilindric sau conic se obține în majoritatea cazurilor prin asamblare prin sudare din virole. Fiecare virolă rezultă din tablă prin curbare pe valț și sudare în lungul generatoarei. Virolele se assemblează cap la cap cu ajutorul unor cordoane de sudură circumferențiale (inelare). Astfel, virolele cilindrice 1, 2, 3 și 4 din figura 2.3 obținute prin virolare au fost „încheiate” cu ajutorul cordoanelor de sudură meridionale (pe direcția generatoarei) a, b, c și d. Pentru a obține corpul recipientului de lungimea necesară, cele patru virole se assemblează între ele prin intermediul unor cordoane de sudură inelare (circumferen-

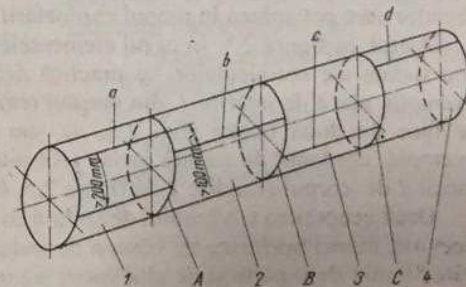


Fig. 2.3. Corpul unui recipient cilindric.

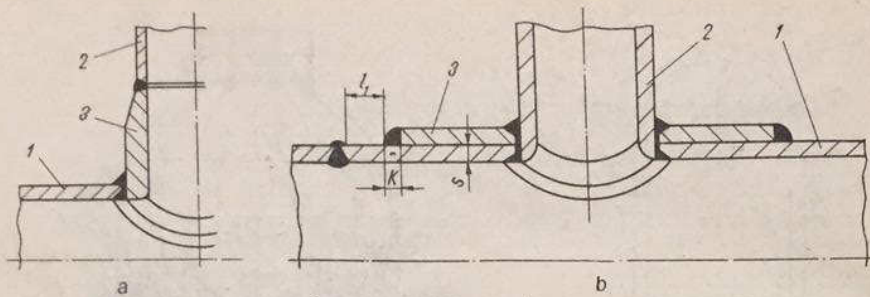


Fig. 2.4. Întărirea orificiilor practicate pe recipient.

țiale) A, B, C. Se impune ca între două cordoane de sudură longitudinale a două virole alăturate să existe un decalaj, măsurat pe circumferință, mai mare decât de trei ori grosimea tablei mai groase, însă minimum 100 mm. În felul acesta se evită o rigidizare pronunțată a zonei cuprinsă între cele două cordoane de sudură. Cordoanele de sudură în cruce sunt interzise, deoarece în zona intersecției cordoanelor are loc îngrămădire de material de adaos, apar tensiuni remanente însemnate și se accentuează deformațiile.

Această condiție este valabilă și pentru cusăturile meridionale alăturate ale recipientelor sferice. Două cusături longitudinale ale unei virole (de exemplu, 1 din fig. 2.3) trebuie să fie la o distanță mai mare de 800 mm; pentru o singură asemenea distanță (măsurată între axele coordonatelor de sudură) se admite să fie mai mare decât 200 mm. Aceste condiții sunt determinate de efectul de rigidizare introdus de cordonul de sudură. O distanță prea mică între cordoanele de sudură rigidizează zona respectivă și modifică raza de curbura (o face mai mare, ceea ce duce la o solicitare dezavantajoasă a zonei respective).

În zona în care recipientul din laminate, 1, este traversat de racordurile 2 (fig. 2.4, a) se realizează *compensarea orificiului* prin adăugarea, pe recipient, a unei plăci de întărire, 3, calculată corespunzător. La recipientele turnate, în zona racordului se prevede un bosaj (o îngroșare locală). Compensarea orificiului se poate face și prin îngroșarea racordului 2, în zona 3, adiacentă recipientului 1 (fig. 2.4, b).

Cordoanele de sudură ale recipientelor nu trebuie slăbite prin găuri decât în mod excepțional, când se vor lua măsuri de întărire. Îmbinările sudate trebuie să nu fie acoperite de elemente atașate recipientului, deoarece trebuie să existe posibilitatea examinării îmbinărilor prin control nedistructiv și remedierii defectelor care pot apărea în timpul exploatarei.

Astfel, în figura 2.5, în cazul elementelor de fixare care traversează îmbinările sudate ale recipientelor, se practică decupări în elementele respective (de exemplu, placa de întărire 1, din dreptul reazemului lateral, 2, al recipientului 3, se face din două bucăți (fig. 2.5, a), sau se întrerupe cordonul de sudură (de exemplu, cordonul de sudură inelar prin intermediul căruia se prinde reazemul inelar 1 de corpul cilindric 3, în figura 2.5, b).

Dacă acoperirea cordonului de sudură cu elemente prinse de recipient este de neevitat, atunci porțiunea de cordon de sudură care urmează a fi acoperită, plus câte 50 mm de-o parte și de alta vor fi supuse în prealabil unei verificări radiografice totale (100%).

Uneori virolele alăturate (succesive), care urmează a fi sudate între ele, sunt de grosimi diferite. La sudarea cap la cap a unor asemenea virole, cea cu grosimea peretelui mai mare, s_2 , trebuie să fie teșită uniform până la grosimea mai mică, s_1 , pe o lungime $l \geq l_{min}$, unde (fig. 2.6, a):

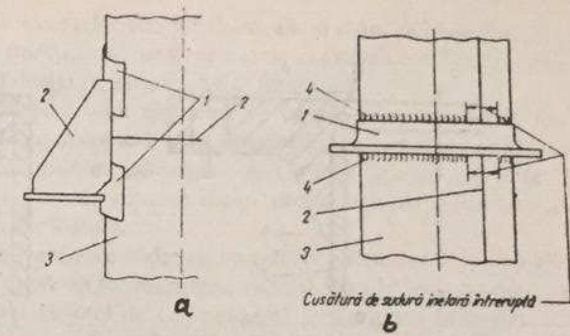


Fig. 2.5. Soluții pentru evitarea încrucișării cordoanelor de sudură.

$$l_{min} = 4(s_2 - s_1) \quad (2.1)$$

În cazul sudării inelare (circulare), teșirea nu trebuie făcută dacă (fig. 2.6, b) diferența $s_2 - s_1$ este mai mică decât valoarea Δs_{max} , respectiv:

$$s_2 - s_1 < \Delta s_{max} \quad (2.2)$$

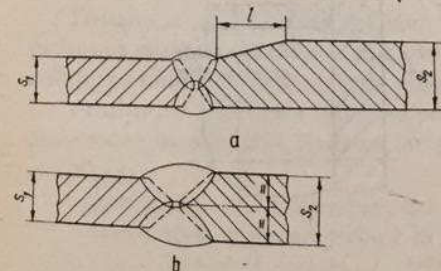
unde:

$$\Delta s_{max} = \begin{cases} \frac{s_2}{4} & \text{daca } s_2 \leq 20 \text{ mm} \\ 5 \text{ mm,} & \text{daca } 20 \text{ mm} < s_2 \leq 40 \text{ mm} \\ \frac{s_2}{8} & \text{daca } 40 \text{ mm} < s_2 \leq 50 \text{ mm} \\ \frac{s_2}{8} & \text{insa maximum 20 mm,} & \text{daca } s_2 > 50 \text{ mm.} \end{cases}$$

Trebuie reținut că la sudarea elementelor recipientelor sub presiune se folosesc îmbinări cap la cap. Îmbinările sudate cap la cap trebuie astfel amplasate, încât să nu fie solicitate la încovoiere.

Îmbinările de colț în construcția recipientelor sub presiune se admit numai în următoarele cazuri:

- pentru sudarea flanșelor (fig. 2.7, a), a fundurilor plane (fig. 2.7, b), a racordurilor de corpul recipientului (fig. 2.4, b);
- când construcția recipientului impune (este de neevitat) îmbinarea prin suprapunere a tablelor, cu condiția ca grosimea maximă s_2 să fie:



10 mm, în cazul îmbinării longitudinale;

16 mm, în cazul îmbinării circulare,

iar sudarea să fie executată pe ambele părți;

- pentru fixarea unor elemente în interiorul recipientului, ca fund bombat intermediar etc. (fig. 2.7, c).

Fig. 2.6. Sudarea unor virole de grosimi diferite.

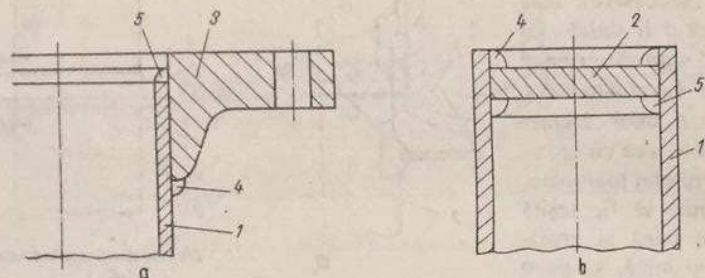


Fig. 2.7. Îmbinări de colț admise la recipiente sub presiune:

1 - corpul recipientului, 2 - fund plan, 3 - flanșă, 4, 5 - cordon de sudură mare

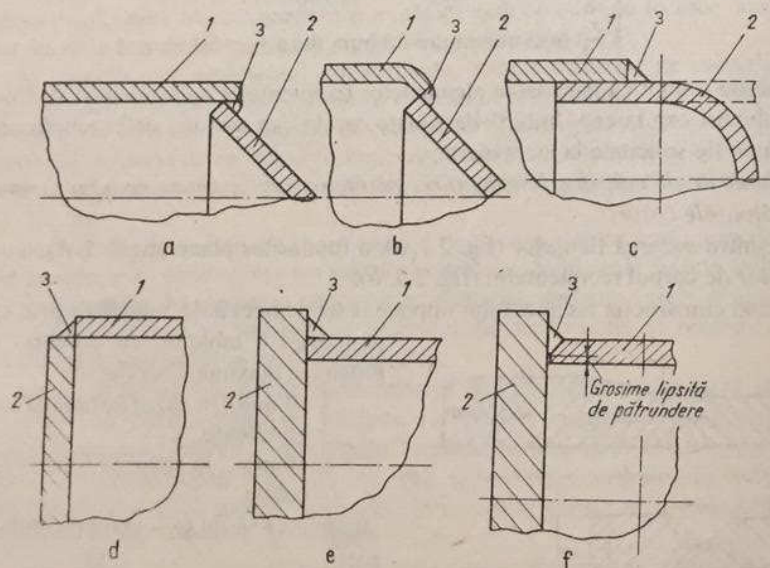
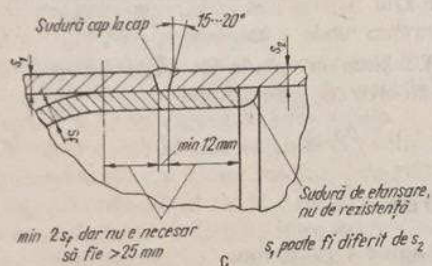


Fig. 2.8. Cordon de sudură de colț neadmise pentru recipiente sub presiune:
1 - corpul recipientului, 2 - fund tronconic, convex sau plan; 3 - cordon de sudură de colț.

Datorită importanței recipientelor sub presiune, cât și datorită pericolului pe care-l reprezintă fisurarea sau ruperea unui recipient, se interzice utilizarea unor cordoane de sudură de colț nesigure, ca acelea din figura 2.8.

La asamblarea prin sudare a unor elemente cu corpul recipientului se impune evitarea suprapunerii sau apropierii concentratorilor de tensiune; cordonul de sudură reprezintă, de exemplu un asemenea concentrator de tensiune. În felul acesta se evită apariția fisurilor sau ruperea recipientului la tratamentul termic, la proba de presiune sau în exploatare.

De exemplu, un inel de rigidizare sudat pe corpul recipientului trebuie astfel amplasat încât distanța minimă dintre marginea sudurii inelului de compensare (sau a racordului neprevăzut cu inel de compensare) și marginea îmbinării sudate a corpului recipientului l_1 sau l_2 (v. fig. 2.4), să îndeplinească condiția:

$$l \geq 3k,$$

unde k este cateta cusăturii sudate, de colț.

2.1.2. Funduri și capace

Recipientele cilindrice se „închid” la capete cu funduri (nedemontabile) sau cu capace (demontabile). Fundurile și capacele pot avea următoarele profiluri: plane, semisferice, semielipsoidale, sferice cu racordare toroidală (denumit și mâner de coș), tronconice.

Fundurile se sudează direct de corpul recipientului (fig. 2.9), pe când capacele se sudează de flanșe, prin intermediul cărora se assemblează demontabil de corpul recipientului. Profilurile (fundurile și capacele) se ambutează din semifabricate (table) sudate în prealabil cap la cap, din două sau trei bucăți. Cordonul de sudură se amplasează după o coardă, la o distanță a față de axa de simetrie a semifabricatului (fig. 2.10, a), format din două părți:

$$a \leq 0,2D_{c,f} \quad (2.3)$$

în care $D_{c,f}$ este diametrul exterior al fundului (capacului), după ambutisare.

În cazul semifabricatului din trei bucăți (fig. 2.10, b):

$$a' > 5s_f \text{ (însă minim 100 mm) și } a'' < 0,2D_{c,f} \quad (2.4)$$

Distanțele a , a' și a'' se măsoară între axele cordonelor de sudură; s_f este grosimea peretelui profilului. În cazul semifabricatului din trei bucăți, uneori se admite ca unul din cordonele de sudură să treacă prin centru (a' sau $a'' = 0$).

Profilurile pot fi însă fabricate prin sudarea laolaltă a mai multor segmente ambutisate în prealabil. Sudarea lor se face de o rozetă centrală (fig. 2.11). În acest caz:

- îmbinările sudate se amplasează numai după meridiane și cercuri (inelare);
- numărul de segmente trebuie să fie impar;
- dacă diametrul rozetei, d , trebuie să fie mai mare decât raza profilului

$\left(\frac{D}{2}\right)$, atunci se recurge la utilizarea profilului tronconic.

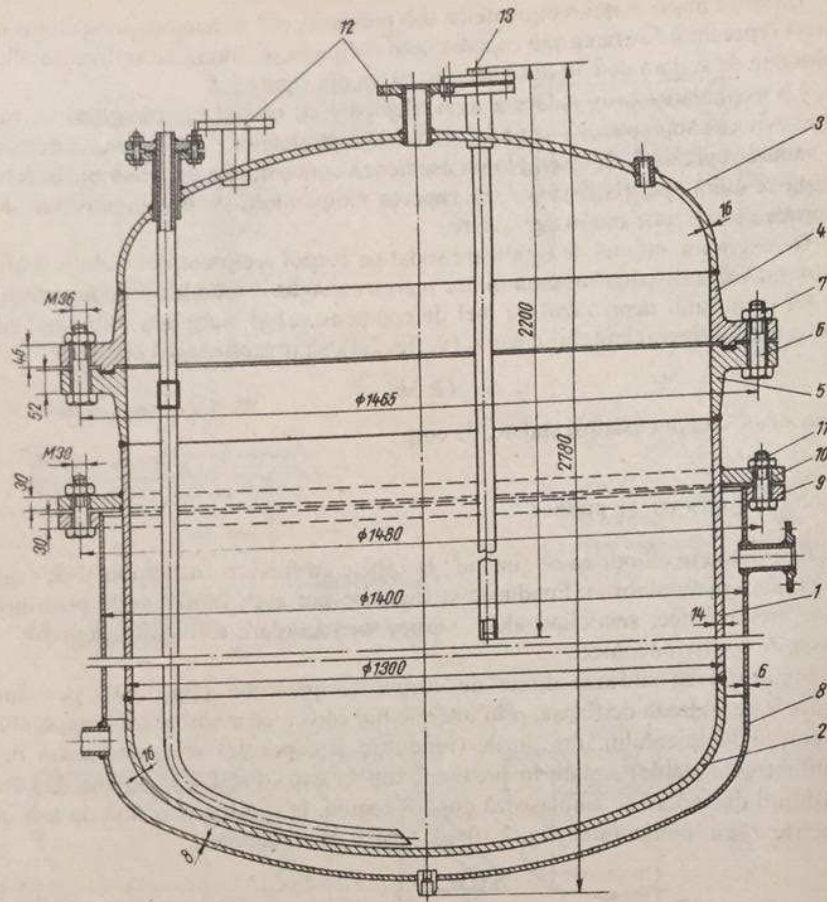


Fig. 2.9. Recipient cilindric din oțel carbon:

1 - corpul cilindric, 2 - fund semielipsoidal, 3 - capac semielipsoidal, 4, 5 - flanșe, 6 - șuruburi, 7 - piulițe, 8 - manta de încălzire, 9 - flanșa mantalei de încălzire, 10 - mel sudat pe corpul recipientului, 11 - șurub și piuliță, 12 - racorduri, 13 - țenac pentru termometru.

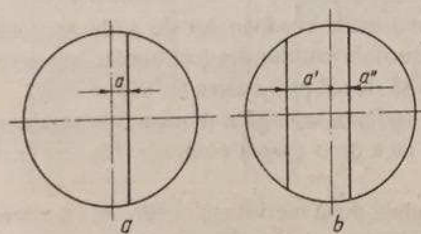


Fig. 2.10. Semifabricate pentru ambutisarea fundurilor și capacelor:
a - din două bucăți, b - din trei bucăți.

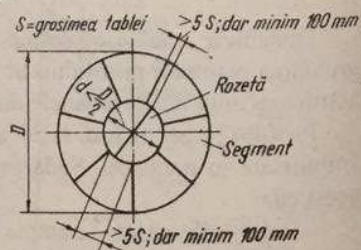


Fig. 2.11. Profiluri obținute din segmente ambutisate, 1, și sudate de o rozeță centrală 2.

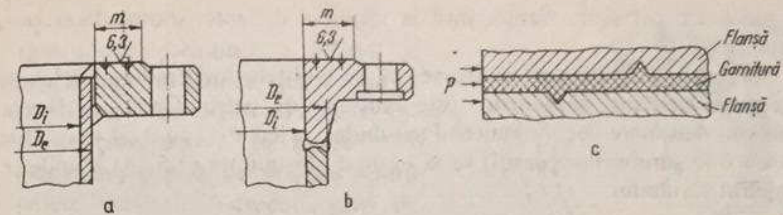


Fig. 2.12. Tipuri de flanșe.

2.1.3. Flanșe

Îmbinarea demontabilă a corpului recipientului cu capacul se realizează cu ajutorul flanșelor. Flanșele se utilizează și pentru realizarea legăturii între tronsoane de conducte sau între conductele tehnologice și racordul de pe recipient. Între cele două flanșe ale unei îmbinări demontabile (4 și 5 în figura 2.11) se așază o garnitură de etanșare, în general din materiale nemetalice. Strângerea flanșelor se face cu ajutorul șuruburilor.

Din punctul de vedere al construcției, flanșele se clasifică în: flanșe plate (fig. 2.12, a) și flanșe cu gât (fig. 2.12, b). Flanșele cu gât sunt mai rigide decât flanșele plate. Suprafața pe care se așază garnitura (m) se prevede cu șanțulețe fine (rizuri) circulare, de 0,1...0,2 mm adâncime, decalate pe cele două flanșe (fig. 2.12, c). În timpul strângerii flanșelor materialul garniturii se deformează elastoplastic, pătrunde în șanțulețe în care se „ancorează” împotriva ruperii și expulzării sub acțiunea presiunii interioare, p . Grosimea garniturii plate este, în general, de 1...2 mm.

În cazul etanșării mediilor toxice și la recipientele cu presiune înaltă se utilizează flanșe cu canal și pană (fig. 2.13). Garnitura se introduce în canalul de lățime $a_1 = 10 \dots 14$ mm de pe flanșa inferioară, urmând să fie apăsată de „pana” inelară de lățime $a = 8 \dots 12$ mm.

Dacă îmbinarea cu flanșe plate nu este suficient de rigidă se recurge la construcții cu nervuri de rigidizare (fig. 2.14). Nervurile se sudează atât de corpul

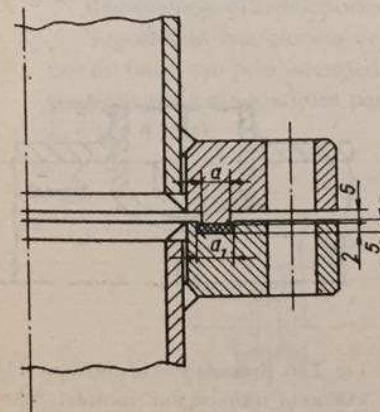


Fig. 2.13. Îmbinarea cu flanșe cu canal și pană.

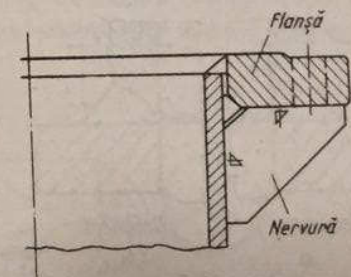


Fig. 2.14. Flanșă cu nervuri de rigidizare.

recipientului, cât și de flanșă, însă la mijlocul distanței dintre două șuruburi alăturate.

Șuruburile îmbinărilor cu flanșe, ca și piulițele lor, trebuie prelucrate în întregime. Numărul șuruburilor este multiplu de patru. Gaura în flanșă are diametrul mai mare decât diametrul șurubului, orientativ, cu 2...4 mm. Distanța dintre axele șuruburilor (pasul) se ia în mod obișnuit de $(3,5...4) \cdot d$ unde d este diametrul șurubului.

2.1.4. Racorduri

Legătura recipientelor cu celelalte utilaje ale liniei tehnologice se realizează cu ajutorul racordurilor. Acestea servesc pentru umplerea sau golirea recipientului, pentru introducerea sau evacuarea agentului termic, precum și pentru introducerea unor traductoare de temperatură, de presiune, de nivel, de pH etc.

Un exemplu de sudare a racordului de peretele recipientului rezultă din figura 2.15. Teava nu pătrunde în recipient. Lățimea L a cordonului de sudură depinde de grosimea țevii, s , dar trebuie să fie mai mare decât 6 mm.

Racordurile de umplere se realizează astfel ca ele să depășească cu o anumită cotă, nu prea mare, suprafața interioară a peretelui recipientului (fig. 2.16). În felul acesta este împiedicată prelingerea de lichid pe capac sau pe corp, care poate duce, în unele situații, la corodare accentuată.

Racordurile de golire, pe la fundul recipientului, trebuie construite astfel încât să nu depășească suprafața interioară a fundului, pentru a permite o golire completă a recipientului.

2.1.5. Guri de vizitare

Adesea recipientele sunt prevăzute cu guri de vizitare. Acestea au diametrul interior de cel puțin 400 mm (sau 300×400 mm) și înălțimea racordului de maximum 250 mm. Ele servesc controlului și curățirii (dacă este necesar) inte-

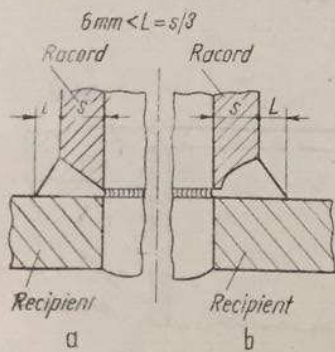


Fig. 2.15. Racord sudat pe recipient fără întărituri.

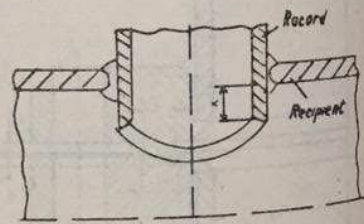


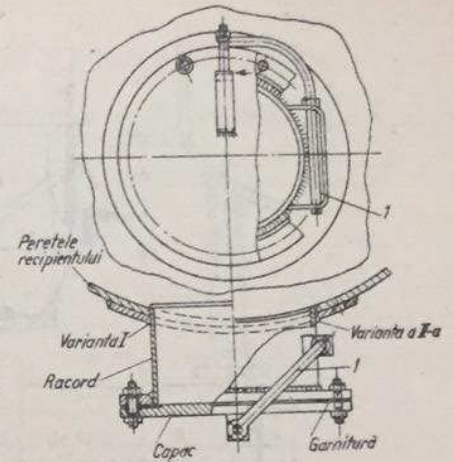
Fig. 2.16. Racord sudat la interiorul și la exteriorul recipientului; racordul depășește cu cota x suprafața interioară a recipientului.

riorului recipientului și intrării și ieșirii unui om fără echipament auxiliar. Ele se realizează în diferite variante constructive. În figura 2.17 este redată o gură de vizitare pentru perete vertical. Asemenea guri de vizitare, prevăzute cu articulație I (v. fig. 2.17), se utilizează la aparatele relativ înalte, de tipul coloanelor; articulația permite manevrarea lor sigură de pe platforme și schele.

Pentru verificarea interiorului recipientului, în funcție de diametrul acestuia, se pot prevedea, după caz, guri de examinare vizuală, guri de mână sau guri de cap (ele au diametrul mai mic decât 400 mm).

La recipientele care conțin substanțe letale, toxice sau inflamabile se prevăd guri de salvare. Acestea permit intrarea și ieșirea unui om îmbrăcat cu echipament de salvare sau de protecție. Gurile de salvare au diametrul interior de cel puțin 600 mm.

Fig. 2.17. Gură de vizitare pentru perete vertical.



2.1.6. Suporturi și urechi de susținere

Recipientele cilindrice sau tronconice verticale și recipientele cilindrice orizontale se reazemă pe fundație prin intermediul suporturilor. Recipientele cilindrice verticale se reazemă fie prin intermediul suporturilor laterale (montare suspendată), fie prin intermediul suporturilor de fund sau al virozelor-suport.

Recipientele cilindrice orizontale se reazemă pe suporturi de tip șă (fig. 2.18). Suporturile laterale sau cele de fund se sudează direct de partea cilindrică sau de fund, sau prin intermediul câte unei plăci de întărire, 3 (fig. 2.19, a, b) de grosime egală cu grosimea peretelui. Numărul suporturilor laterale se ia egal cu 2, 4 sau 8 (rar).

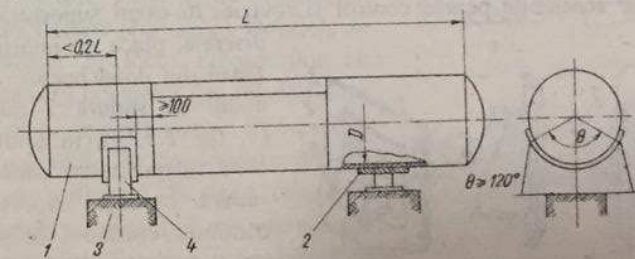


Fig. 2.18. Recipient orizontal:
1 - placă de întărire; 2 - fundație; 3 - suport

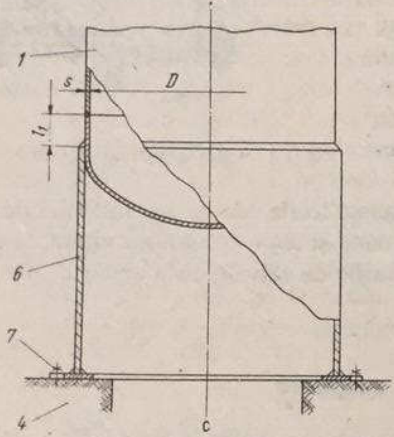
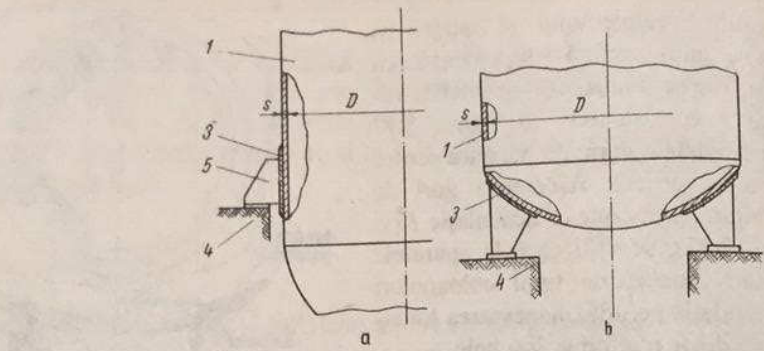


Fig. 2.19. Recipient vertical rezezat prin intermediul unor suporturi:

a - laterale; *b* - de fund; *c* - virolă suport; 1 - recipient vertical; 2 - suport de fund; 3 - placă de întărire; 4 - fundație; 5 - suport lateral; 6 - virolă suport; 7 - șurub de fundație

Suporturile se execută din oțel carbon, iar placa de întărire (care se sudează de recipient) se execută din oțel carbon (sau din oțel anticorosiv, la recipientele din oțel anticorosiv).

În figura 2.20 este schițat un suport lateral din elemente sudate, prevăzut cu placă de întărire. Placa de întărire se sudează de recipient.

Dacă suporturile traversează cusăturile de sudură longitudinale sau transversale ale corpului recipientului ele trebuie astfel realizate încât cusăturile de sudură să fie accesibile pentru control și revizie.

În cazul suporturilor laterale discrete, placa de întărire se realizează din două bucăți; astfel, cordonul de sudură 2 rămâne liber (v. fig. 2.5, *b*). În felul acesta se evită intersectarea cordonelor de sudură. În cazul suportului inelar continuu, cordonul de sudură inelar 4, se întrerupe de-o parte și de alta a cordonului de sudură longitudinal, 2 (v. fig. 2.5, *c*).

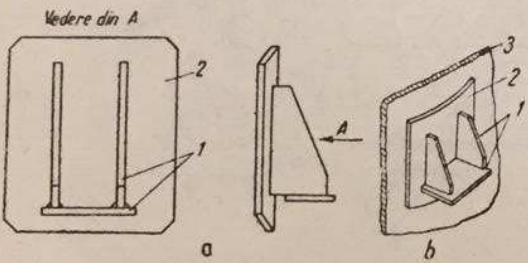


Fig. 2.20. Suport lateral: 1 - suport; 2 - placă de întărire; 3 - virolă.

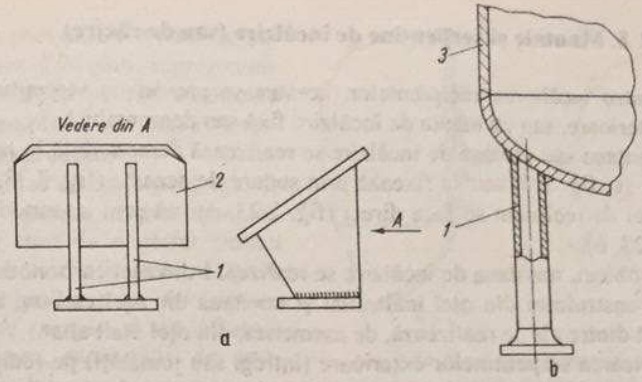


Fig. 2.21. Suport de fund: *a* - cu placă de întărire; *b* - tubular; 1 - suport; 2 - placă de întărire; 3 - recipient.

Suporturile de fund se execută dintr-o bucată sau asamblate prin sudare (fig. 2.21, *a*). Se prevăd de obicei trei, patru sau șase suporturi. Uneori se utilizează suporturi din țevi sudate de peretele recipientului (fig. 2.21, *b*).

La virolele suport, cordonul de sudură de colț dintre virola suport și fundul aparatului trebuie astfel amplasată, încât să fie destul de depărtat atât de cusătura fund-manta, c_1 , cât și de racordarea părții curbate a fundului cu partea cilindrică a acestuia, c_2 (v. fig. 2.19, *c*).

La suporturile șa pentru recipiente orizontale rezemarea se face astfel ca $\theta \geq 120^\circ$ (v. fig. 2.18). Pentru a evita apariția unor tensiuni exagerate, suportul se amplasează la mai puțin de $0,2D$ de capete (v. fig. 2.18).

Pentru montaj și transport recipientele se prevăd cu urechi de susținere.

2.1.7. Bosaje

Pentru fixarea unor elemente pe recipiente, îndeosebi pe capace și pe funduri se sudează bosaje care permit realizarea unor legături filetate (fig. 2.22). Bosajele se folosesc uneori în locul racordurilor cu flanșe. Avantajul bosajelor (un fel de flanșe sudate direct pe aparat), constă în aceea că servesc și ca inele de consolidare. Pentru asamblare se utilizează, în acest caz, prezoane. Bosajele au grosimea mai mare decât flanșele și necesită o prelucrare conformă cu suprafața pe care se sudează (cilindrică, sferică etc.).

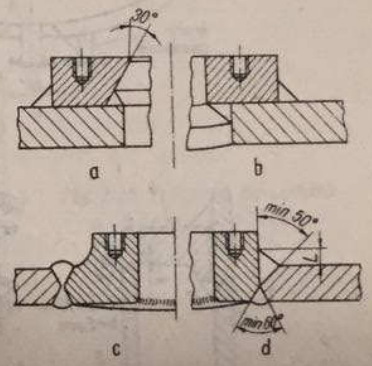


Fig. 2.22. Variante constructive de bosaje.

2.1.8. Mantale și serpentine de încălzire (sau de răcire)

Pentru încălzirea recipientelor, acestea se prevăd cu serpentine interioare sau exterioare, sau cu manta de încălzire fixă sau demontabilă.

Mantaua sau cămașa de încălzire se realizează demontabilă în raport cu recipientul (v. fig. 2.9) sau se fixează prin sudare de aceasta (fig. 2.23, a). Sudarea mantalei de recipient se face direct (fig. 2.23, a) sau prin intermediul unui inel (fig. 2.23, b).

De obicei, mantaua de încălzire se realizează din oțel carbon; dacă recipientul se construiește din oțel înalt aliat și manta din oțel carbon, elementul de legătură dintre ele se realizează, de asemenea, din oțel înalt aliat.

Aplicarea serpentinelor exterioare (întregi sau jumătăți) pe recipient se face prin „înfășurare“ elicoidală și prin sudare. Pasul serpentinei se alege astfel încât

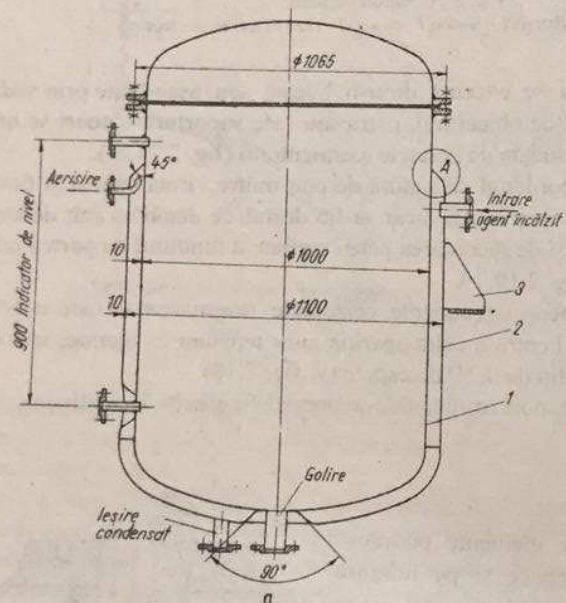
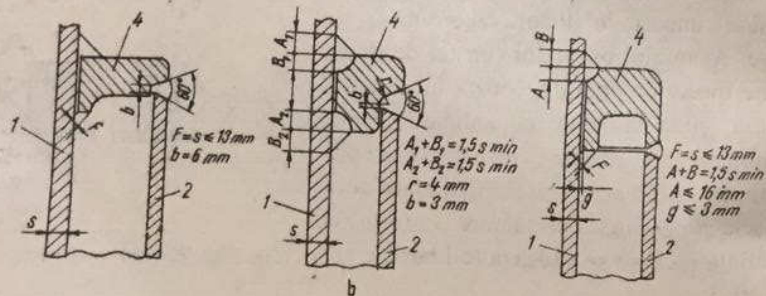


Fig. 2.23. Recipient cu manta de încălzire:

a - cu zonă tronconică (detaliul A), b - cu mel.
1 - corp recipient, 2 - manta, 3 - suport lateral, 4 - mel.



să poată fi manevrat electrodul de sudură. În figura 2.24 sunt reprezentate două variante de serpentine exterioare (sudate de recipient) din țevă și respectiv din bandă curbată.

Atât mantaua cât și serpentinele de încălzire se izolează termic spre exterior cu un strat de material izolant termic. Această soluție îmbunătățește bilanțul energetic, prin micșorarea pierderilor de energie, și are influență pozitivă asupra capacității de producție a utilajului.

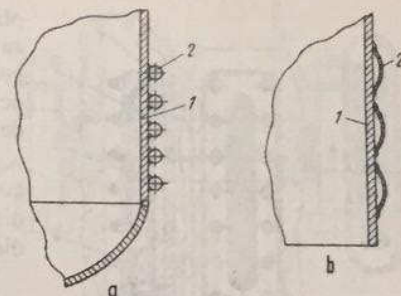


Fig. 2.24. Serpentine de încălzire din: a - țevă; b - bandă curbată.

2.1.9. Armături

Armăturile sunt dispozitive care servesc pentru urmărirea funcționării recipientelor și pentru reglarea regimului de funcționare.

Recipientele sub presiune, după caz, trebuie prevăzute cu următoarele armături: manometru, montat cu robinet de control; termometru; ferestre de control; indicator de nivel; diferite alte traductoare; supapă sau membrană de siguranță; reductor automat de presiune; robinete de alimentare și de golire; placa de timbru.

2.1.9.1. Ferestre de control. Pentru urmărirea procesului de lucru din recipient (amestecare, colorare, spumare etc.) se aplică, pe manta sau pe capac, ferestre de control. În general se aplică cel puțin două ferestre de control; una pentru iluminare și cealaltă pentru observare.

Fereastra de control (fig. 2.25) cu sticlă plană în formă de disc, 1, se așază între două garnituri moi, 2 și 3, dintre care cea exterioară, 3, este de regulă din

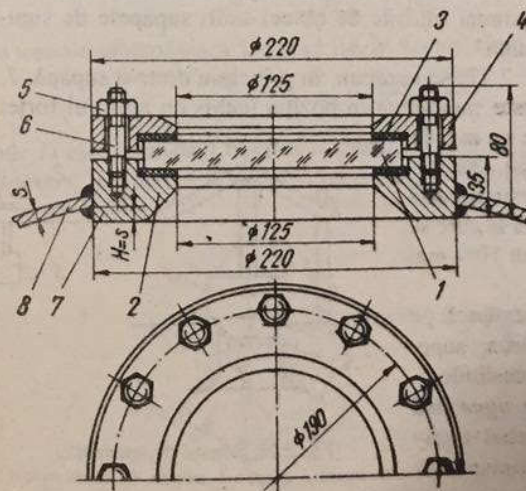


Fig. 2.25. Fereastră de control cu diametrul de 125 mm.

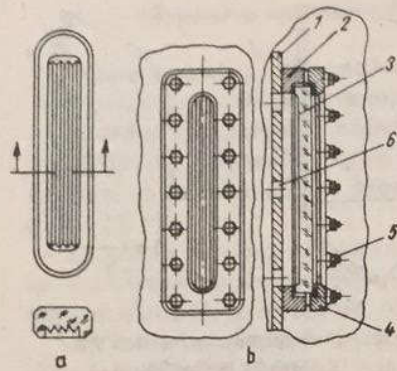


Fig. 2.26. Indicator de nivel:

a - cu sticla striată; b - cu montură specială: 1 - peretele recipientului; 2 - bosaj; 3 - sticla de nivel; 4 - inel de strângere; 5 - prezoane; 6 - găuri în peretele recipientului.

întocmai ca ferestrele de control. Aceste sticle nu trebuie iluminate, deoarece partea sticlei în contact direct cu lichidul, începând de jos și până la nivelul lichidului, capătă o culoare neagră; deasupra nivelului lichidului sticla capătă o culoare mult mai deschisă. Sticla de nivel este călită și poate fi folosită până la $p = 12$ MPa.

În cazul presiunilor mari și al lungimilor necesare mari ale sticlei de nivel, indicatorul de nivel se face din mai multe segmente (și nu dintr-o bucată).

Pentru fluidele care în condiții de lucru atacă sticla se folosesc indicatoare de nivel cu plăci de mică.

2.1.9.3. *Dispozitive de siguranță.* Pentru a se asigura funcționarea fără pericol a recipientelor sub presiune, acestea trebuie să fie dotate cu dispozitive de siguranță. Dispozitivele de siguranță folosite de obicei sunt: supapele de siguranță sau membranele de siguranță.

Supapele de siguranță (fig. 2.27) se compun, în principiu dintr-o supapă, 1, și scaunul supapei, 4; supapa este menținută în poziția închisă cu ajutorul forței produse de o greutate, 3, sau de un arc. La depășirea presiunii, pentru care este reglată supapa, forța de apăsare este învinsă și supapa se deschide. Presiunea la care se deschide supapa este cu cel mult 10% mai mare decât presiunea nominală.

Supapele de siguranță se montează pe recipient, de preferință în partea superioară, astfel încât să fie ușor accesibile.

Membranele și discurile de siguranță sau de rupere se folosesc în locul supapelor de siguranță dacă suprapresiunea în

placă de azbest și are rolul de a uniformiza apăsarea exercitată de inelul de strângere 4, ca urmare a înșurubării piulițelor 5 pe prezoanele 6, fixate în bosajul 7, sudat de peretele recipientului 8.

Grosimea discurilor de sticlă specială, polizată pe contur, este de 10 mm la diametrul liber de 50 mm și de 20 mm la diametrul liber de 125 mm.

Între periferia discului și peretele locașului din montură trebuie să existe joc spre a evita distrugerea discului.

2.1.9.2. *Indicatoare de nivel.* Pentru măsurarea nivelului, în lungul generatorii recipientului vertical se montează indicatoare de nivel cu tub de sticlă sau cu sticle de nivel striate (fig. 2.26, a), strânse într-o montură specială (fig. 2.26, b).

Între periferia discului și peretele locașului din montură trebuie să existe joc spre a evita distrugerea discului.

Între periferia discului și peretele locașului din montură trebuie să existe joc spre a evita distrugerea discului.

În cazul presiunilor mari și al lungimilor necesare mari ale sticlei de nivel, indicatorul de nivel se face din mai multe segmente (și nu dintr-o bucată).

Pentru fluidele care în condiții de lucru atacă sticla se folosesc indicatoare de nivel cu plăci de mică.

2.1.9.3. *Dispozitive de siguranță.* Pentru a se asigura funcționarea fără pericol a recipientelor sub presiune, acestea trebuie să fie dotate cu dispozitive de siguranță. Dispozitivele de siguranță folosite de obicei sunt: supapele de siguranță sau membranele de siguranță.

Supapele de siguranță (fig. 2.27) se compun, în principiu dintr-o supapă, 1, și scaunul supapei, 4; supapa este menținută în poziția închisă cu ajutorul forței produse de o greutate, 3, sau de un arc. La depășirea presiunii, pentru care este reglată supapa, forța de apăsare este învinsă și supapa se deschide. Presiunea la care se deschide supapa este cu cel mult 10% mai mare decât presiunea nominală.

Supapele de siguranță se montează pe recipient, de preferință în partea superioară, astfel încât să fie ușor accesibile.

Membranele și discurile de siguranță sau de rupere se folosesc în locul supapelor de siguranță dacă suprapresiunea în

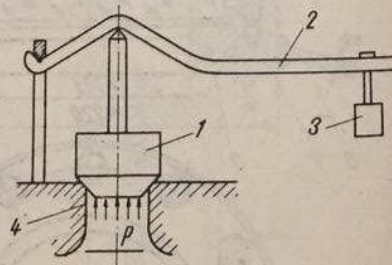


Fig. 2.27. Supapă de siguranță:

1 - supapă; 2 - pârghie; 3 - greutate; 4 - scaunul supapei.

recipient poate crește brusc, dacă supapa de siguranță nu poate asigura o etanșeitate suficientă (în special în cazul unor medii inflamabile sau explozive) etc.

Membranele și discurile de siguranță au dezavantajul că nu pot fi utilizate decât o singură dată, iar după ruperea acestora, ca urmare a depășirii presiunii de rupere, ieșirea fluidului din interior rămâne liberă, cu toate că uneori nu este necesară scăderea presiunii la zero ci numai reducerea ei în limite nepericuloase (așa cum o face supapa de siguranță).

Există mai multe tipuri constructive de membrane și discuri de siguranță. În figura 2.28 este redată construcția unui dispozitiv cu membrană de siguranță pentru presiuni de până la 4 MPa.

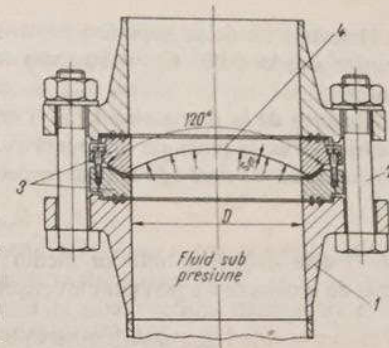


Fig. 2.28. Dispozitiv de siguranță cu membrană:

1 - flanșă; 2 - șurub; 3 - montură de siguranță; 4 - membrană prebombată.

2.1.10. Controlul fabricării recipientelor sub presiune

La fabricarea recipientelor sub presiune trebuie respectate toleranțele. Neasigurarea toleranțelor în limitele prescrise influențează nefavorabil solicitarea recipientului și deci poate determina micșorarea siguranței în exploatare.

Ovalitatea (abaterea de la forma circulară) într-o secțiune dată a virolei cilindrice este definită de relația:

$$a = \frac{2 \times (D_{\max} - D_{\min})}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Nu trebuie să depășească 1% și să fie, în același timp, mai mică decât

$$a_1 = \frac{D + 1250}{200},$$

unde D este diametrul interior nominal, în mm; D_{\max} , D_{\min} - diametrul maxim și, respectiv, minim măsurat într-o secțiune a virolei (fig. 2.29, a).

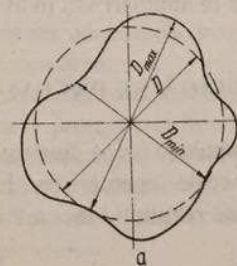


Fig. 2.29. Abateri de la forma geometrică perfectă.

Defectele locale pe suprafața elementelor cilindrice, adânciturile, trebuie să fie inferioare lui $0,005 D_e$, însă nu mai mari de 5 mm (D_e este diametrul exterior al virolei).

Abateră de la forma circulară, în orice secțiune transversală a unui înveliș cilindric supus la presiune interioară (v. fig. 2.29, a), trebuie să fie mai mică decât valoarea maximă admisibilă, respectiv:

$$D_{\max} - D_{\min} \leq a D, \quad (2.6)$$

unde D este diametrul interior mediu în secțiunea considerată; a constantă funcție de grosimea s a peretelui învelișului;

$$a = \begin{cases} 1,5\%, & \text{pentru } s < 0,01 D \\ 1\%, & \text{pentru } s \geq 0,01 D \end{cases} \quad (2.7)$$

Săgeata maximă, f (abaterea de la rectilinitate) a generatoarei unui corp cilindric, față de generatoarea teoretică (fig. 2.29, b) trebuie să fie,

$$f \leq 0,003 L, \quad (2.8)$$

unde L este lungimea corpului cilindric.

După fabricarea recipientului se controlează:

- încadrarea dimensiunilor în abaterile prescrise;
- starea suprafețelor interioare și exterioare; nu trebuie să prezinte defecte care depășesc limitele admise prin normele de produs sau prescrise prin proiect;
- îmbinările sudate (examinarea aspectului și dimensiunilor; examinarea nedistructivă; încercări distructive ale epruvetelor prelevate din plăcile de control etc.).

Se efectuează, de asemenea, controlul marcării recipientului. Aceasta constă în verificarea existenței pe recipient a datelor necesare stabilirii parametrilor de funcționare, a materialului (marcă, șarjă, număr), poansoanelor sudorilor și poansoanelor organelor de control care au efectuat controlul interfazic.

După execuția completă a recipientului se realizează încercarea (proba) de presiune (hidraulică sau pneumatică). În timpul încercării părțile aflate sub presiune trebuie să reziste fără deformații remanente, fisuri, crăpături sau scurgeri la îmbinări.

Încercarea de etanșeitate se execută la o presiune egală cu presiunea nominală a recipientului. Această încercare se face în mod obișnuit la recipientele care conțin fluide toxice sau inflamabile. Încercarea se consideră reușită dacă în timpul probei nu s-au constatat pierderi de fluid la îmbinări sau în alte locuri.

2.2. ÎNCERCAREA (PROBA) HIDRAULICĂ ȘI PNEUMATICĂ

După fabricarea recipientului, acesta este supus, la uzina constructoare, unei încercări de rezistență și/sau de etanșeitate. Aceste încercări (probe) stabilesc dacă recipientul rezistă sau dacă este etanș. Dacă rezultatul încercării este pozitiv, recipientul poate fi trimis beneficiarului.

Încercarea se face cel mai des cu lichid (încercare hidraulică) iar uneori, ținând seama de condițiile de funcționare ale recipientului, de natura substanțelor care-l străbat, încercarea se face cu un gaz neutru sau cu aer (încercare pneumatică).

2.2.1. Încercarea de rezistență

Dintre lichide, în mod obișnuit, pentru încercarea - (proba) hidraulică se utilizează apa, a cărei temperatură nu trebuie să depășească 50°C .

Pot fi utilizate și alte lichide dar care să nu aibă o acțiune dăunătoare asupra materialelor recipientului și care să aibă o penetrabilitate mai bună prin eventualele defecte din îmbinări.

Menținerea la presiunea de încercare va fi de minimum 10 min. Creșterea și scăderea presiunii se va face în mod treptat, fără șocuri.

Se recurge la încercarea pneumatică atunci când încercarea hidraulică nu poate fi efectuată din cauza greutateii lichidului, a dificultăților de evacuare a acestuia. Pentru proba pneumatică se utilizează gaze neutre (aer, azot etc.).

2.2.2. Încercarea de etanșeitate

Încercarea de etanșeitate se face cu un gaz neutru sau, în anumite cazuri, cu fluidul cu care lucrează instalația, la presiunea maximă admisibilă de lucru. Menținerea sub presiune se face timp de circa 30 minute. Încercarea se consideră reușită dacă nu se constată o scădere a presiunii și pierderi de fluid.

2.2.3. Presiunea de încercare

Presiunea de încercare a rezistenței unui recipient este, în general, superioară presiunii de calcul, p_c , a acestuia. Presiunea de calcul este presiunea maximă de lucru a recipientului, așezat în poziție normală de funcționare. Valoarea acesteia se înscrie pe placa de timbru a recipientului.

Presiunea de încercare (probă) hidraulică, p_{ph} , a unui recipient din tablă, se calculează cu relația:

$$p_{ph} = 1,25 p_c \frac{\sigma_{ap}}{\sigma_a}, \quad (2.9)$$

în care:

σ_{ap} este tensiunea admisibilă (pentru materialul recipientului) la temperatura la care are loc încercarea;

σ_a este tensiunea admisibilă la temperatura de calcul a peretelui recipientului.

Recipientele protejate la interior cu un strat anticoroziv (email, gresie, ebonită) se supun încercării hidraulice, în uzina constructoare (înaintea aplicării stratului protector) la presiunea p_{ph} calculată cu relația (2.9). Încercarea la presiune hidraulică, după aplicarea stratului protector, se face la presiunea de calcul a recipientului.

Presiunea de încercare (probă) pneumatică, p_{pp} , se calculează cu relația.

$$p_{pp} = 1,1 p_c \cdot \frac{\sigma_{ap}}{\sigma_v} \quad (2.10)$$

în care p_c , σ_{ap} și σ_v au semnificațiile de la relația (2.9).

2.3. CALCULUL RECIPIENTELOR CU PERETE SUBȚIRE

După determinarea volumului și a dimensiunilor interioare ale recipientului (diametru, lungime etc.) se calculează grosimea peretelui cu relația:

$$s = \delta + c_f + c_r \quad (2.11)$$

în care,

δ este grosimea teoretică;

c_f – adaosul de coroziune;

c_r – adaosul de rotunjire (vezi și relația 1.2)

Grosimea δ rezultă pe baza considerării acțiunii presiunii (interioare sau exterioare) care solicită recipientul.

Ca urmare a acțiunii interioare, p_r , peretele recipientului, supus întinderii, se deformează; dacă presiunea crește foarte mult, peretele se poate rupe, ca urmare a depășirii rezistenței materialului. Supus presiunii exterioare, p_e , peretele recipientului este comprimat (fig. 2.30). La depășirea unei anumite valori a presiunii exterioare, numită *presiune critică*, p_{cr} , recipientul își pierde stabilitatea, adică își pierde forma inițială. De exemplu, în cazul recipientului cilindric, la $p > p_{cr}$, ca urmare a pierderii stabilității, forma secțiunii transversale se schimbă (fig. 2.30, b); din circulară (1), devine ondulată (2).

Deoarece problema calculului la stabilitate a recipientelor este complicată și necesită cunoștințe mai profunde decât cele expuse aici, în continuare se prezintă calculul grosimii din condiția rezistenței recipientului la solicitarea la presiune interioară.

Presiunea interioară la care se efectuează calculul rezultă pe baza condițiilor procesului tehnologic (fizic sau fizico-chimic) din recipient. Presiunea la care se desfășoară procesul tehnologic poartă numele de *presiune de regim*, p_r , sau *presiune de lucru*. Acesta poate avea, după caz, valori întregi sau fracționare. Pentru a restrânge numărul tipurilor de recipiente, precum și numărul de

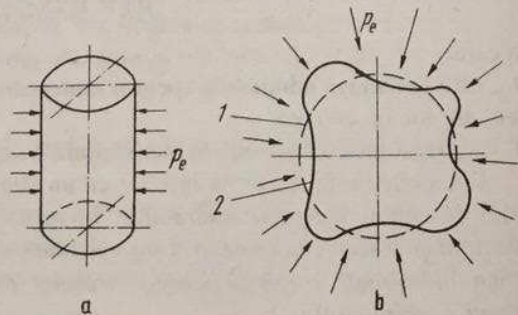


Fig. 2.30. Recipient cilindric solicitat la presiune exterioară.

subansambluri și piese componente ale recipientelor, au fost normalizate o serie de presiuni. În tabelul 2.1 este redat șirul de presiuni nominale, p_n . Presiunea de calcul, p_c , se ia egală cu presiunea nominală; aceasta se înscrie pe placa de timbru. În general:

$$p_r \leq p_n \quad (2.12)$$

Tabelul 2.1

Șirul de presiuni în MPa		
0,1	1,0	10,0
	(1,25)	12,5
	1,6	16,0
0,2	2,0	20,0
(0,25)	2,5	25,0
0,3	3,2	32,5
0,4	4,0	40,0
	5,0	50,0
0,6	6,4	63,0
		70,0
(0,8)	8,0	80,0

Observație: Pentru produsele de serie valorile dintre paranteze nu sunt recomandate.

Presiunea determină apariția, în peretele recipientului a unor tensiuni. Valoarea acestora depinde de dimensiunile recipientului și de presiunea interioară. În continuare vor fi stabilite expresiile pentru determinarea tensiunilor în câteva cazuri practice, fără a se ține seamă de modul de rezemare al recipientului.

2.3.1. Recipiente sferice

Se consideră un recipient sferic cu diametrul interior $D = 2R$, și grosimea peretelui δ , supus presiunii interioare, p (fig. 2.31, a). Se secționează corpul sferic cu un plan diametral care trece prin AB și se separă emisfera stângă. Pentru ca aceasta să fie în echilibru sub acțiunea presiunii interioare, pe circumferința de separare se introduc forțele de interacțiune dintre cele două emisfere (acum separate). Ca urmare, aceste forțe pot fi înlocuite cu tensiunea σ (fig. 2.31, b) care acționează pe unitatea de arie a secțiunii peretelui.

Tensiunile se distribuie, ca și forțele pe care le înlocuiesc, pe suprafața mediană, aflată la egală distanță de suprafața interioară și respectiv exterioară a peretelui recipientului. Raza suprafeței mediane este (fig. 2.31, b):

$$R = R_i + \frac{\delta}{2} \quad (2.13)$$

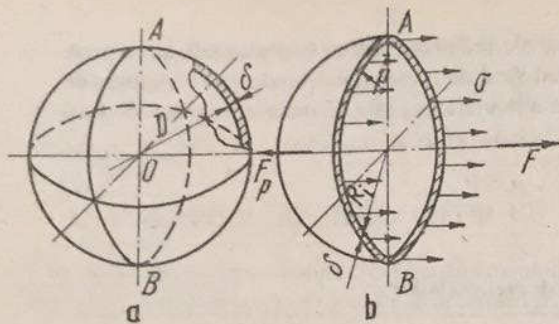


Fig. 2.31. Recipient sferic supus presiunii interioare.

Forța rezultantă care acționează pe circumferința de rază R este:

$$F = \sigma \cdot A, \quad (2.14)$$

în care A este aria secțiunii transversale,

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \delta.$$

Pe fața interioară acționează presiunea p care determină (raportat la raza R), forța:

$$F_p = p \cdot (\pi \cdot R^2). \quad (2.15)$$

Deoarece semisfera se află în echilibru sub acțiunea celor două forțe F și F_p , rezultă că:

$$F = F_p \quad (2.16)$$

sau

$$\sigma \cdot 2 \cdot \pi R \cdot \delta = p \cdot (\pi R^2)$$

de unde:

$$\sigma = \frac{pR}{2\delta} \quad (2.17)$$

Relația (2.17) exprimă tensiunea în peretele recipientului sferic de rază R și grosime δ supus presiunii interioare, p .

Pentru a stabili o relație de dimensionare, se egalează σ cu tensiunea limită σ_{lim} . Pentru construcțiile sudate aceasta este egală cu produsul $\sigma_{lim} = \varphi \cdot \sigma_a$, în care $\varphi \leq 1$, este coeficientul de rezistență al cordonului de sudură. Acesta depinde de tipul îmbinării sudate, de calitatea execuției cordonului de sudură și de volumul examinării nedistructive.

Tensiunea admisibilă σ_a rezultă din relațiile,

$$\sigma_a = \frac{\sigma_c}{c_c} \text{ - pentru materiale ductile;}$$

sau

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{c_r} \text{ - pentru materiale fragile,}$$

unde: σ_c este limita de curgere a materialului peretelui la temperatura de calcul; σ_r - rezistența de rupere a materialului; c_c - coeficientul de siguranță la curgere; c_r - coeficientul de siguranță la rupere.

Valori minime admisibile pentru coeficienții de siguranță:

- la curgere $c_{c,a} = 1,5$;

- la rupere $c_{r,a} = 2,4$.

Scriind $\sigma = \varphi \cdot \sigma_a$ și $R = R_i + \delta/2$, din (2.17) se obține:

$$\varphi \cdot \sigma_a = \frac{p(R_i + \delta/2)}{2\delta}$$

de unde

$$\delta = \frac{2pR_i}{4\varphi \cdot \sigma_a - p}$$

sau

$$\delta = \frac{p \cdot D}{4\varphi \cdot \sigma_a - p} \quad (2.19)$$

Exemplu de calcul. Să se verifice grosimea de rezistență $\delta = 10$ mm a unui recipient sferic cu raza interioară $R_i = 1$ m, supus presiunii interioare de calcul $p = 2$ MPa. Se dau $\sigma_c = 220$ MPa și $\varphi = 1,0$.

Pentru ca recipientul să reziste este necesar ca $\sigma \leq \sigma_a$ sau $c_c \geq c_{c,a}$. Din relațiile (2.17) și (2.13).

$$\sigma = \frac{p \left(R_i + \left(\frac{\delta}{2} \right) \right)}{2\delta} = \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{10}{2} \cdot 10^{-3} \right)}{2(10 \cdot 10^{-3})} = 100,5 \text{ MPa}$$

astfel că:

$$c_c = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{220}{100,5} \approx 2.$$

Deoarece $c_c > c_{c,a} = 1,5$, rezultă că recipientul rezistă la presiunea la care este solicitat.

2.3.2. Recipiente cilindrice

Se consideră un recipient cilindric cu diametrul interior $D = 2R$ și cu grosimea de rezistență a peretelui δ (fig. 2.32), supus presiunii interioare p . Se secționează recipientul cu un plan diametral ABA_1B_1 și se îndepărtează capacele. Pe circumferința $2\pi R$ pe care se prinde capacul, se introduce forțele de interacțiune dintre capac și virola cilindrică. Acestea sunt uniform repartizate. Forța rezultantă care acționează pe circumferința de rază R (la nivelul suprafeței mediane) este,

$$F_l = \sigma_l \cdot A_l \quad (2.20)$$

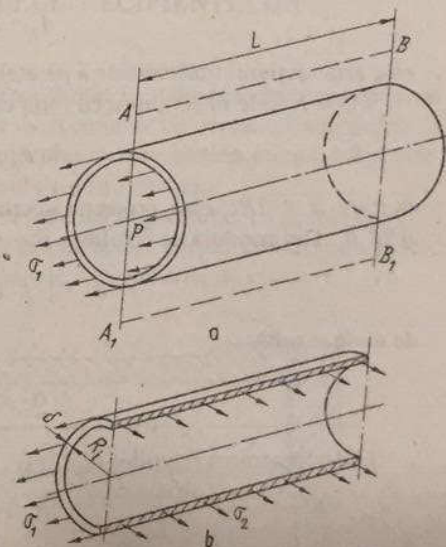


Fig. 2.32. Recipient cilindric supus presiunii interioare.

în care σ_1 este tensiunea meridională (în lungul generatoarei).

$$A_1 = 2\pi R \cdot \delta$$

este aria secțiunii transversale a peretelui virolei.

Forța F_1 este produsă de presiunea interioară care acționează asupra capacitivului și care determină forța

$$F_{p1} = \pi R^2 \cdot p. \quad (2.21)$$

Cele două forțe își fac echilibrul astfel că $F_1 = F_{p1}$. După înlocuiri se obține,

$$\sigma_1 \cdot 2\pi R \delta = \pi R^2 p,$$

de unde:

$$\sigma_1 = \frac{pR}{2\delta} \quad (2.22)$$

Se secționează apoi virola cilindrică cu un plan diametral ABA_1B_1 . Pe semicilindrul din stânga (fig. 2.32, b) se introduc forțele de interacțiune cu semicilindrul îndepărtat. Deoarece forța este uniform repartizată în lungul celor două generatoare, aceasta se înlocuiește cu tensiunea σ_2 . Forța rezultantă care acționează în planul ABA_1B_1 este:

$$F_2 = \sigma_2 \cdot A_2, \quad (2.23)$$

în care σ_2 este tensiunea inelară (circumferențială), iar

$$A_2 = 2 \cdot L \cdot \delta,$$

este aria secțiunii transversale a peretelui cilindric.

Forța F_2 este în echilibru cu forța care o cauzează, F_{p2} , care are expresia:

$$F_{p2} = pA$$

în care $A = 2RL$ este proiecția secțiunii semicilindrului pe planul diametral ABA_1B_1 . Din condiția de echilibru $F_2 = F_{p2}$ se obține:

$$\sigma_2 \cdot 2 \cdot L \cdot \delta = p \cdot 2R \cdot L$$

de unde rezultă:

$$\sigma_2 = \frac{pR}{\delta} \quad (2.24)$$

Din compararea relațiilor (2.22) și (2.24) reiese că

$$\sigma_2 = 2 \cdot \sigma_1 \quad (2.25)$$

Cele două tensiuni σ_1 și σ_2 sunt perpendiculare între ele. Starea de tensiune este plană (biaxială). Pentru compararea acestei stări de tensiuni (σ_1 , σ_2) cu cea

de întindere simplă se calculează tensiunea echivalentă, σ_{ech} , a stării de solicitare, cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sigma_{max} - \sigma_{min} \quad (2.26)$$

în care $\sigma_{max} = \sigma_2$, iar $\sigma_{min} = \sigma_3 = 0$ (σ_3 - a treia tensiune, corepunzător solicitării spațiale; aici solicitarea fiind plană, $\sigma_3 = 0$). Rezultă:

$$\sigma_{ech} = \frac{pR}{\delta} \quad (2.27)$$

Pentru dimensionare se înlocuiește σ_{ech} cu tensiunea limită $\varphi \cdot \sigma_o$, obținută din experimente de întindere simplă, în care σ_o rezultă conform relației (2.18). Din relațiile (2.13) și (2.27) rezultă:

$$\varphi \sigma_o = \frac{p \left(R_i + \frac{\delta}{2} \right)}{\delta}$$

de unde,

$$\delta = \frac{2 \cdot p \cdot R_i}{2\varphi \cdot \sigma_o - p}$$

sau

$$\delta = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma_o - p}$$

2.4. CONSTRUCȚIA ȘI CALCULUL RECIPIENTELOR CU PERETE GROS

Recipientele cu perete gros se utilizează atât în industria chimică, cât și în domeniul energiei nucleare. Exemple de recipiente cu perete gros în industria chimică: coloanele pentru sinteza amoniacului, pentru sinteza metanolului, pentru sinteza ureei, pentru sinteza unor combustibili sintetici.

În figura 2.33 este reprezentat un corp de înaltă presiune, cu perete gros. Se disting, ca subansambluri componente, următoarele: corpul cilindric cu perete gros, 1, capacele 2 și 3, strânse cu prezoanele 4, garniturile de etanșare 5 și 6.

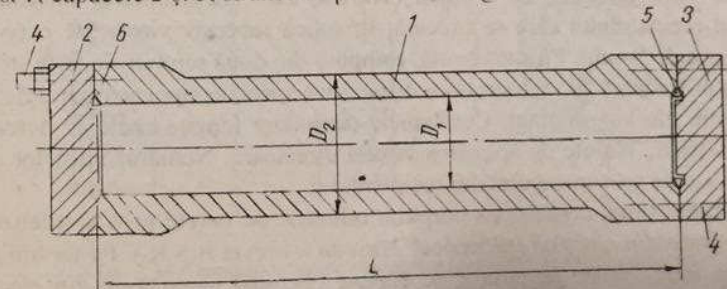


Fig. 2.33. Recipient cu perete gros.

2.4.1. Fabricarea corpurilor cu perete gros

În prezent, pe lângă corpurile cilindrice, se produc și corpuri sferice cu perete gros, însă cu diametrul mult mai mic decât al recipientelor sferice cu perete subțire.

Cel mai des întâlnite în industrie sunt recipientele cu perete gros cilindrice. Procedeele de fabricare ale corpului cilindric cu perete gros sunt următoarele: turnare, forjare, tragere și presare; laminare și sudare; înfășurare din tablă sau din bandă profilată; prin depunere de metal topit din electrod sau bandă de sudare. Prin urmare, corpurile cilindrice cu perete gros pot fi realizate:

– cu *perete masiv* (prin turnare, prin forjare, prin laminare și sudare; prin depunere din electrod);

– cu *perete multistrat* (înfășurare din tablă sau din bandă profilată; din straturi succesive de semicilindri).

Corpurile cu perete gros turnate se utilizează din ce în ce mai rar, deoarece rezistența metalului turnat este mai mică cu 30 ... 40% decât a metalului forjat. Prin turnare este dificilă obținerea unor corpuri de dimensiuni foarte mari.

Până nu de mult *forjarea* era procedeul principal de fabricare a corpurilor cu perete gros. Acesta decurge în felul următor: semifabricatul (lingoul) încălzit la temperatura de forjare (1150 ... 1200° C) este deformat ca atare, apoi materialul din partea centrală se înlătură prin perforare cu un dorn tubular; forjarea ulterioară se face pe dorn până la obținerea cilindrului de dimensiunile necesare. Finisarea corpului cu perete gros se efectuează prin strunjire pe strunguri de dimensiuni mari. Forjarea corpurilor cu perete gros este dezavantajoasă, deoarece:

– necesită utilaje mari;

– din semifabricatul inițial se înlătură o mare cantitate de metal (pentru o coloană care are 70 t, se pornește de la un semifabricat de 150 ... 170 t);

– durata fabricării este mare, ceea ce scumpește recipientul.

Corpul cilindric cu perete gros poate fi realizat din doi semicilindri curbati din tablă de grosime corespunzătoare, la cald, pe valț sau la presa hidraulică. Apoi, cei doi semicilindri se sudează automat în lungul celor două generatoare. Sudarea se face sub baie de zgură.

Corpurile cu perete gros din semicilindri concentrici realizați din tablă se execută în felul următor: pe o țevă centrală, care are diametrul interior cât diametrul recipientului care se execută, se aplică succesiv virole (de exemplu, cu grosimea de 5 mm). Fiecare virolă, compusă din două semivirole, este strânsă pe virola precedentă cu ajutorul unor dispozitive speciale; apoi semivirolele sunt sudate între ele longitudinal. Cordoanele de sudură longitudinale se netezesc, fiecare în parte, înainte de aplicarea virolei următoare. Numărul virolelor aplicate depinde de grosimea peretelui recipientului.

În ultimul timp, construcția corpului cilindric cu perete gros se realizează prin *depunere din electrod* (procedeul *Muscău* – brevet R.S.R.). Pe un tub central, prins între vârfuri pe strung, se depune elicoidal metal topit din electrod (sârmă sau bandă). Electrocul trece printr-un dispozitiv fixat pe porteuțit.

Dispozitivul porteuțit se deplasează în lungul generatoarei cilindrului, iar cilindrul se rotește cu viteza necesară realizării unei depuneri omogene. Acest procedeu a fost aplicat la realizarea unor corpuri de înaltă presiune pentru unele combinate chimice din țara noastră.

2.4.2. Etanșări și închideri de înaltă presiune

Îmbinarea corp-capac la recipiente de înaltă presiune asigură etanșeitarea acestuia. Această îmbinare poartă numele de închidere de înaltă presiune. De construcția închiderii de înaltă presiune depinde buna funcționare a recipientului.

Pentru etanșarea recipientului și conductelor de înaltă presiune se utilizează:

– *garnituri metalice moi* (din cupru recopt, aluminiu, fier Armko) care lucrează la strivire;

– *inele profilate, metalice, rigide*, care lucrează în domeniul deformațiilor elastice.

Garniturile metalice moi (fig. 2.34) se construiesc cu secțiunea: dreptunghiulară (fig. 2.34, a), triunghiulară (fig. 2.34, b).

Garniturile metalice moi cu secțiunea dreptunghiulară, se utilizează la recipiente cu diametrul sub 600 mm. Garniturile cu secțiunea triunghiulară, sunt relativ înguste (8–12 mm); se folosesc până la presiuni de 85 MPa.

În prezent se utilizează adesea *închideri cu inel cu dublă conicitate*; închideri pe care se așază – în zonele de etanșare – garnituri din tablă de aluminiu sau de cupru cu grosimea de 1...1,5 mm. Construcția unei închideri cu inel cu dublă conicitate rezultă din figura 2.35. Între corpul 1 și capacul 3, prelucrate corespunzător, se așază inelul biconic 4. Strângerea capacului 3 și deci și a garniturii 4 se asigură cu ajutorul prezoanelor 5. În figura 2.35 este redată în detaliu zona etanșării. Strângerea prezoanelor determină strivirea garniturilor moi 6 și 7 (din aluminiu sau cupru), între corpul 1 și inelul biconic 4 și între acesta și capacul 3. Inelul 8 are rolul de a fixa inelul biconic 4, astfel ca acesta să poată fi manevrat o dată cu capacul 3 în timpul operațiilor de montare-demontare. În timpul exploatarei presiunea gazului acționează asupra suprafeței cilindrice interioare a inelului 4 (la diametrul D_1) ceea ce duce la o apăsare suplimentară asupra

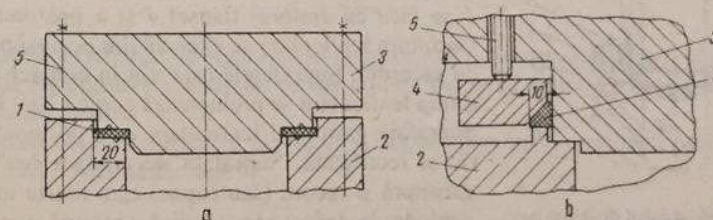


Fig. 2.34. Garnituri metalice moi pentru recipiente de înaltă presiune:
a - garnitură cu secțiune dreptunghiulară; b - garnitură cu secțiune triunghiulară; 1 - garnitură, 2 - corp, 3 - capac, 4 - inel, 5 - prezoane.

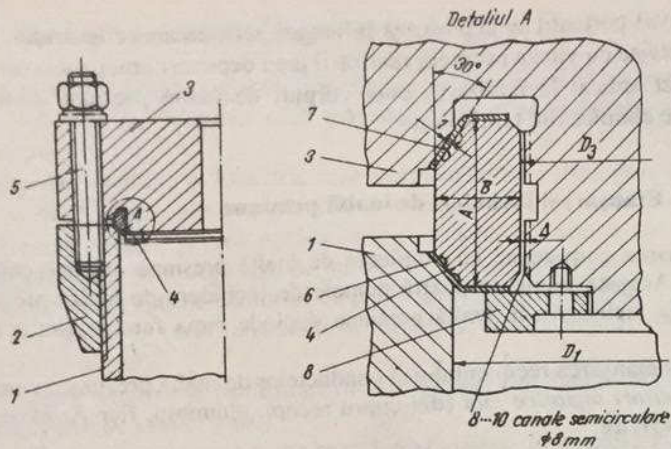


Fig. 2.35. Închidere cu inel biconic:

1 - corpul recipientului, 2 - flanșă, 3 - capac, 4 - inel biconic, 5 - prezon, 6, 7 - garnitură moale (metalică), 8 - inel de fixare

inelor de etanșare 6 și 7. Această apăsare are efect de *autoetanșare* și ea se adaugă strângerii realizate de prezoane. Pentru a asigura accesul gazului sub presiune pe fața interioară a inelului 4, se practică mai multe canale de partea capacului concentric cu fața interioară a inelului. Între inelul 4 și capacul 3, la diametrul D_1 trebuie să se asigure un joc Δ .

De exemplu, pentru un recipient cu $D_1 = 1200$ mm și $D = 1137$ mm, care urmează să funcționeze la $p_c = 32,5$ MPa, dimensiunile specifice inelului biconic sunt următoarele (v. fig. 2.35):

- $A = 135$ mm;
- $B = 55$ mm;
- $C = 52$ mm;
- $\Delta \leq 0,5685$ mm.

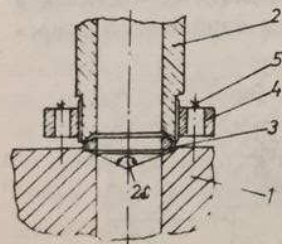


Fig. 2.36. Racord de înaltă presiune:

1 - corp cu perete gros, 2 - țevă, 3 - garnitură lenticulară, 4 - flanșă, 5 - prezon și piuliță

Garniturile lenticulare, se utilizează pentru montarea racordurilor pe capac (fig. 2.36). Strângerea garniturii 3, între capătul racordului 2 și capacul 1 se face cu ajutorul flanșei 4 și a prezoanelor 5. Garnitura lenticulară se execută din același material cu racordul. Suprafețele care vin în contact cu garnitura lenticulară se prelucrează conic ($2\alpha = 120^\circ$). Suprafața garniturii lenticulare este prelucrată sferic și rectificată. Suprafața de contact reală între garnitură și racord (sau capac) este foarte mică; ea depinde de deformația elastică obținută prin strângerea garniturii lenticulare. Aceste garnituri se utilizează pentru racorduri cu diametrul de cel mult 200 mm.

2.5. CALCULUL RECIPIENTELOR CU PERETE GROS

Calculul și construcția recipientelor cu perete gros sunt operațiuni de foarte mare răspundere. Explozia unui asemenea recipient poate avea efecte dezastruoase. În cele ce urmează vor fi expuse numai relațiile pentru calculul corpului recipientelor cilindrice și sferice. În practica proiectării, pentru fiecare dintre elementele componente ale recipientului cu perete gros se alege atent forma constructivă cea mai adecvată și se dimensionează, în afara corpului principal, capacele, garniturile de etanșare (sau închiderile de înaltă presiune), prezoanele etc.

Grosimea peretelui recipientului

Grosimea corpului cu perete gros se calculează cu relația:

$$s = \delta + c_1 \quad (2.29)$$

în care grosimea de rezistență δ rezultă pe baza raportului adimensional:

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} \quad (2.30)$$

iar c_1 este adaosul de coroziune sau de eroziune.

Grosimea de rezistență δ (v. fig. 2.33) are expresia:

$$\delta = R_1(\beta - 1) \quad (2.31)$$

unde $R_1 = \frac{D_1}{2}$ este raza interioară.

a) *Raportul adimensional* β , pentru corpuri cilindrice cu perete gros realizate din *materiale tenace* și supuse presiunii interioare, se calculează cu relația:

$$\beta = \left(\frac{1}{1 - \sqrt{3} \cdot \frac{p_c}{\sigma_{lim}}} \right)^{1/2} \quad (2.32)$$

în care p_c este presiunea de calcul; σ_{lim} - tensiunea limită, care are expresia:

$$\sigma_{lim} = \begin{cases} \sigma_a & \text{- pentru corpurile turnate sau forjate (și nesudate);} \\ \varphi \cdot \sigma_a & \text{- pentru corpurile obținute prin procedee care implică și sudarea} \end{cases}$$

φ - coeficientul de rezistență al cordonului de sudură.

În general se admite că tensiunea admisibilă este:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_c^{(t)}}{c_c}$$

unde c_c este coeficientul de siguranță la curgere; $\sigma_c^{(t)}$ - limita de curgere la temperatura de funcționare a peretelui recipientului. Valoarea minimă a coeficientului de siguranță este $c_c = 1,5$.

b) Pentru corpuri sferice cu perete gros, supuse presiunii interioare, raportul adimensional β rezultă din relația:

$$\beta = \left(\frac{1}{1 - 1,5 \cdot \frac{p_c}{\sigma_{lim}}} \right)^{1/3} \quad (2.33)$$

în care p_c și σ_{lim} au aceeași semnificație cu cea de la relația (2.32).

3.

REZERVOARE

3.1. GENERALITĂȚI

În momentul de față, se dispune de o mare varietate de soluții constructive privind utilajele destinate depozitării în condiții industriale a petrolului brut și a produselor petroliere, chimice și petrochimice, soluția cea mai uzual folosită fiind soluția depozitării în rezervoare metalice. Având în vedere poziția de montaj a rezervorului față de suprafața solului se întâlnesc:

– rezervoare supraterane, în care sunt incluse rezervoarele amplasate direct pe sol sau deasupra solului;

– rezervoare semiîngropate, și anume rezervoarele petroliere îngropate în sol pe mai mult de jumătate din înălțimea lor, fără ca înălțimea produsului stocat în el să depășească 2 m față de nivelul solului;

– rezervoare îngropate, care înglobează rezervoarele, la care nivelul maxim al lichidului se află la 0,2 m sub nivelul solului;

– rezervoare subacvatice.

Reiese evident că soluția depozitării în rezervoare semiîngropate sau îngropate, față de soluția depozitării în rezervoare supraterane, prezintă o serie de avantaje, ca: asigurarea unei mai bune protecții contra incendiilor, eliminarea pericolului pierderilor de produse petroliere în caz de avarie sau distrugere a unui rezervor din parcul de rezervoare, ca și reducerea sensibilă a pierderilor prin evaporare. Cu toate acestea, soluția depozitării în rezervoare de suprafață este frecvent întâlnită pe platformele chimice și petrochimice. Având în vedere forma geometrică, rezervoarele pot fi: cilindrice, sferice, sferoidale, paralelipipedice sau de alte forme speciale.

La baza alegerii formei geometrice a rezervorului stau criteriile economice (raportul dintre suprafața și volumul lor geometric) sau criteriul economicității exploatarii (mărimea cheltuielilor de control, reparare și revopsirea rezervorului). Din punctul de vedere a suprapresiunii interioare de depozitare, rezervoarele se pot grupa în trei mari categorii:

– rezervoare de presiune joasă, denumite și rezervoare atmosferice, care, în general, sunt rezervoare metalice cilindrice verticale;

– rezervoare de presiune medie, din care fac parte rezervoarele cilindrice orizontale, rezervoarele sferoidale, rezervoarele cilindrice verticale cu capac bombat;

– rezervoare de presiune ridicată, care pot fi rezervoare sferice sau rezervoare cilindrice orizontale de construcție specială.

3.2. REZERVOARE ATMOSFERICE CILINDRICE VERTICALE

3.2.1. Elemente constructive specifice

În marea majoritate a cazurilor, rezervoarele de depozitare sunt atmosferice, cel mai reprezentativ fiind rezervorul cilindric vertical, care este un recipient cu fundul în general plat, folosit pentru depozitarea produselor petroliere la suprapresiuni de până la 50 kN/m^2 ($5000 \text{ mm H}_2\text{O}$). În practica depozitării produselor petroliere și petrochimice se întâlnesc rezervoare atmosferice cilindrice verticale cu capacități nominale de depozitare diverse, distingându-se următoarele tipuri principale de rezervoare cilindrice verticale supraterane: rezervoare de mică capacitate cu capacitate nominală de depozitare, $V \leq 30000 \text{ m}^3$, rezervoare de capacitate medie sau mare, specifice unităților chimice și petrochimice, care au capacitatea nominală de depozitare $V \leq 50000 \text{ m}^3$ și rezervoare de capacitate foarte mare, a căror capacitate nominală de depozitare $V > 50000 \text{ m}^3$.

Urmărindu-se formele constructive de rezervoare atmosferice cilindrice verticale, se poate constata o mare varietate de forme constructive de rezervoare, dintre care cele mai importante sunt: rezervoare atmosferice cu capac fix (forma capacului fiind plată, conică sau bombată), denumite și rezervoare standard; rezervoare atmosferice cu capac plutitor, specifice rezervoarelor de mare și foarte mare capacitate; rezervoare atmosferice cu capac respirator (rezervoare cu capac autoportant fără moment).

Din punct de vedere constructiv, mantaua și fundul acestor rezervoare sunt soluționate în mod identic, diferind doar construcția capacului, de la caz la caz.

Părțile principale ale unui rezervor atmosferic cilindric vertical sunt reprezentate de fundul, mantaua și capacul rezervorului, tot acest ansamblu sprijinindu-se pe o fundație. În scopul unei deserviri normale și în condiții de deplină securitate tehnică, rezervorul este prevăzut cu echipament tehnologic și de deservire. În figura 3.1 este prezentată schematic componența unui rezervor atmosferic cilindric vertical destinat depozitării produselor petroliere.

Tehnologia de fabricație, asamblare și montare a rezervoarelor cilindrice verticale este prezentată în capitolul 15.

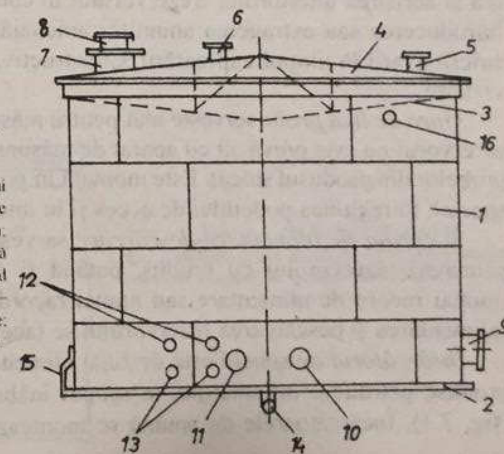


Fig. 3.1. Vedere de ansamblu a unui rezervor cilindric vertical cu capac fix:
1 – mantaua; 2 – fundul; 3 – infrastructura capacului (ferme); 4 – invelitoarea capacului; 5 – racord intrare produs; 6 – racord pentru echipamentul respiratoriu; 7 – gură de lumină; 8 – gură de luat probe; 9 – gură de vizitare; 10 – racord ieșire produs; 11 – racord intrare abur; 12 – racord pentru intrare abur; 13 – racord pentru ieșire condens; 14 – racord drenare; 15 – priza pământ; 16 – racord încălțătoare spumă

În scopul unei funcționări corespunzătoare și a unei exploatare în condiții de deplină securitate tehnică a rezervoarelor cilindrice verticale tip standard (cu capac fix), acestea sunt echipate cu o serie de amenajări interioare și exterioare amplasate pe rezervor, într-o anumită ordine, care să respecte prescripțiile standardelor în vigoare (STAS 6578-78). Caracteristicile tehnice și tehnologice ale elementelor componente echipamentului rezervorului trebuie să corespundă standardelor și normelor tehnice de produs. Selecționarea armăturilor rezervoarelor se face în funcție de caracteristicile produsului petrolier. Având în vedere temperatura de inflamabilitate a produselor stocate, și deci componenta echipamentului rezervoarelor cilindrice verticale acestea se împart în:

– rezervoare de categoria I – care cuprind rezervoarele destinate depozitării petrolului brut și a produselor petroliere cu temperatura de inflamabilitate mai mică decât $+55^{\circ}\text{C}$;

– rezervoare de categoria a II-a – destinate stocării produselor petroliere cu temperatura de inflamabilitate peste $+55^{\circ}\text{C}$, depozitarea făcându-se în condiții de temperatură egală sau mai mare decât temperatura de inflamabilitate;

– rezervoare de categoria a III-a – destinate depozitării produselor petroliere cu temperatura de inflamabilitate peste $+55^{\circ}\text{C}$, depozitarea făcându-se la o temperatură inferioară temperaturii de inflamabilitate. În figura 3.2 se prezintă echipamentul obligatoriu pentru rezervoare.

Din punct de vedere constructiv, elementele componente ale echipamentului obligatoriu al rezervoarelor atmosferice sunt standardizate sau tipizate. Din punctul de vedere al amplasamentului și al scopului funcțional, ele prezintă următoarele particularități:

Gura de vizitare – amplasată la partea inferioară a mantalei rezervorului, la distanța de 0,700 m de la fundul rezervorului, servește, atât pentru crearea condițiilor necesare accesului în incinta rezervorului în scopul curățirii, controlului și reviziei echipamentului interior, cât și pentru ventilarea acestuia înainte de accesul personalului în interior (v. cap. Recipiente sub presiune).

Gura de lumină este amplasată pe capacul rezervorului, diametral opus gurii de vizitare, în perimetrul podețului de acces la armături. Ea servește la iluminarea și aerisirea interiorului rezervorului în condiții de revizie, precum și pentru introducerea sau extragerea anumitor amenajări interioare din rezervor care au suferit avarii în timpul exploatareii. Constructiv, este realizată la fel ca și gura de vizitare.

Gura de luat probe servește atât pentru măsurarea nivelului în rezervor (când rezervorul nu este prevăzut cu aparat de măsurat nivelul), cât și pentru recoltarea probelor din produsul stocat. Este montată în poziție verticală pe capac, pe un ștuț special, în regiunea podețului de acces și în imediata apropiere a scării de acces.

Racordul de alimentare-descărcare servește la alimentarea și golirea (descărcarea) rezervorului cu produs, putând fi construit fie cu funcție separată (numai racord de alimentare sau numai racord golire), fie cu funcție cumulată (alimentarea și descărcarea rezervorului se face prin același racord).

Încărcătorul de spumă este destinat alimentării cu spumă a rezervoarelor cu produse petroliere inflamabile, în scopul înăbușirii focului în caz de incendiu (fig. 3.3). Încărcătoarele de spumă se montează paralel cu generatoarea rezervo-

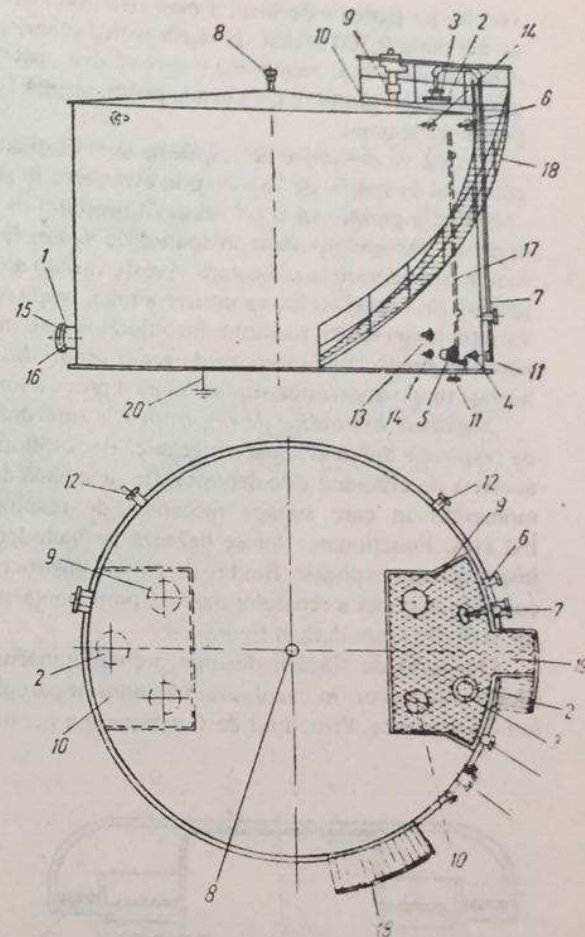


Fig. 3.2. Echipament obligatoriu pentru rezervoare și amplasarea lui pe rezervor:

1 – gură de vizitare; 2 – gură de lumină; 3 – gură pentru luarea probelor; 4 – racord intrare (alimentare) produs; 5 – racord golire (descărcare) produs; 6 – racord pentru egalizarea presiunii în spațiul de gaze; 7 – indicator de nivel; 8 – racord pentru aerisire; 9 – opritor de flăcări și supapă mecanică de respirație; 10 – opritor de flăcări și supapă hidrolică de respirație; 11 – racord de scurgere; 12 – racord pentru încărcătoare de spumă; 13 – racord pentru intrarea aburului în serpentină; 14 – racord pentru ieșirea aburului (condensului) din serpentină; 15 – teacă pentru regulatorul de căldură; 16 – teacă pentru termometru; 17 – dispozitiv etanș pentru luarea probelor; 18 – scară exterioară; 19 – podeț de acces; 20 – priză pentru legarea electrică la pământ.

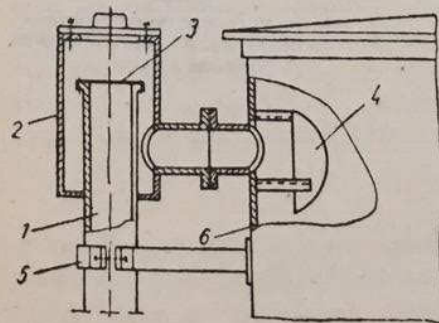


Fig. 3.3. Încărcător de spumă.
1, 2 – conducte pentru spumă; 3 – capac; 4 – membrană; 5 – sistem de prindere de mantaua rezervorului; 6 – mantaua rezervorului.

vorului pe partea exterioară a mantalei, cotul de intrare în rezervor fiind situat cu cel puțin 0,300 m mai sus decât partea superioară a mantalei rezervorului. El este prevăzut cu o membrană 4 care să evite pătrunderea gazelor din spațiul de gaze al rezervorului în conductele pentru spumă 1 și 2 și care să cedeze ușor sub presiunea spumei.

Supapele mecanice de respirație sunt destinate menținerii presiunii sau vacuumului în spațiul de vapori, prin evacuarea în atmosferă sau într-un sistem de colectare a gazelor în cazul atingerii presiunii de proiectare ori permițerii unui aport de aer sau gaz inert în spațiul de vapori la atingerea valorii vacuumului luat în considerare la proiectare. Aceste variații ale presiunii sau vacuumului din spațiul de vapori au loc ca urmare a micii respirații a rezervorului, produsă din variația temperaturii mediului înconjurător care influențează în mod direct temperatura amestecului eterogen de aer și vapori din spațiul de gaze, favorizând în același timp vaporizarea suplimentară a produselor sau condensarea gazelor.

Supapele hidraulice de respirație (de siguranță) pot funcționa fie ca supape de respirație dublând supapa mecanică de respirație, în cazul în care capacitatea acesteia de evacuare este depășită, fie ca supapă de siguranță, declanșându-se în momentul în care supapa mecanică de respirație se blochează în poziția ÎNCHIS. Funcționarea lor se bazează pe închiderea hidraulică a circuitelor de inspirație sau expirație, fiind realizate în construcție sudată cu posibilitatea înlocuirii cu ușurință a reperelor uzate. Componenta supapei hidraulice de respirație tip SHR-IPG este dată în figura 3.4.

Opritorul de flăcări, destinat preîntâmpinării pătrunderii sau ieșirii flăcărilor din rezervor, în cazul unui incendiu în parcul de rezervoare, rămâne izolat într-un rezervor. Principiul de funcționare a acestuia constă în aceea că flacăra

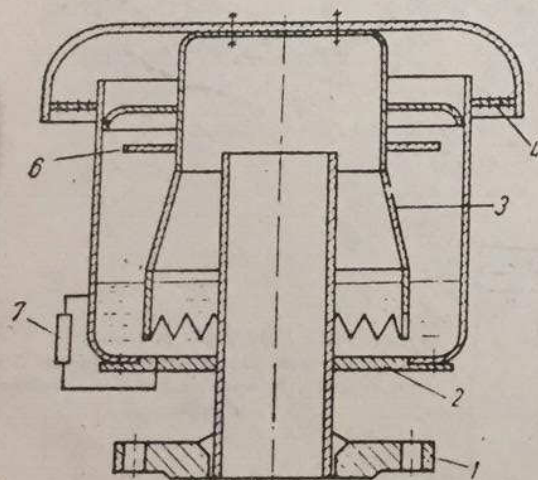


Fig. 3.4. Supapă hidraulică de respirație:

1 - racord; 2 - corpul supapei; 3 - deversor; 4 - sită; 5 - capac; 6 - șicane; 7 - sistem de măsurare a nivelului.

izbucnită în vecinătatea opritorului de flăcări este obligată să treacă printr-o grilă cu orificii foarte mici și confecționată dintr-un material cu o bună conductivitate termică unde este stinsă.

Opritoarele de flăcări sunt montate în serie cu supapele mecanice de respirație și cu supapele hidraulice de respirație.

Racordurile de egalizare a presiunii în spațiul de vapori sunt prevăzute în mod obligatoriu la rezervoarele din depozitele mari de rafinării și combinate chimice și petrochimice în vederea recuperării vaporilor în timpul marilor respirații. Este amplasat la partea superioară a mantalei în zona spațiului de gardă a rezervorului.

3.2.2. Elemente de calcul

Pentru dimensionarea mantalei rezervorului (indiferent de soluția constructivă adoptată) se va considera acesta ca un înveliș cilindric cu perete subțire supus la presiunea interioară $p_{c,i}$. În aceste condiții, grosimea de rezistență a virolei de rang i a mantalei se determină cu relația:

$$\delta_{c,i} = \frac{p_{c,i} D}{2\varphi\sigma_a - p_{c,i}} \quad (3.1)$$

unde:

$p_{c,i}$ - este presiunea interioară de calcul a virolei de rang i ;

D - diametrul interior al rezervorului;

σ_a - rezistența admisibilă a materialului virolei;

φ - coeficientul de rezistență al cordonului de sudură.

Mărimile $p_{c,i}$ și σ_a se exprimă în $Pa = 1 \text{ N/m}^2$ sau în $MPa = 10^6 \text{ Pa}$.

Presiunea interioară de calcul se determină cu relația:

$$p_{c,i} = p_{h,i} + p_d + p_g \quad (3.2)$$

în care $p_{h,i}$ este presiunea hidrostatică asupra virolei de rang i :

$$p_{h,i} = \rho_l \cdot g(H_n - Z_i) \quad (3.3)$$

unde: ρ_l este densitatea lichidului stocat în rezervor, în kg/m^3 ; g - accelerația gravitațională, în m/s^2 ; H_n - înălțimea lichidului în rezervor (înălțimea utilă a mantalei rezervorului), în m ; Z_i - distanța de la baza rezervorului până la baza virolei de rang i (fig. 3.5); p_d - presiunea hidrodinamică dezvoltată de lichid pe pereții rezervorului, în condițiile mișcării tectoniene ale scoarței terestre.

$$p_d = 0,392 D \cdot \rho_l \cdot g k k_s \quad (3.4)$$

în care: k este coeficient ce ține seama de influența stâlpului central: ($k = 1,07$ - pentru rezervoare cu stâlp central și $k = 1,0$ pentru rezervoare fără stâlp central); k_s - coeficient de seismicitate (STAS 9315/1-80); k_z - coeficient de zveltete

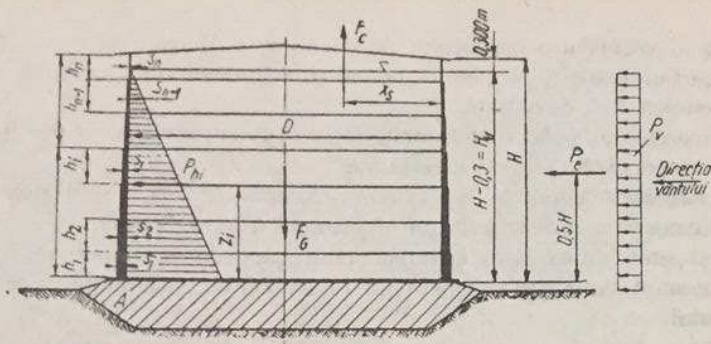


Fig. 3.5. Schema de calcul de dimensionare și verificare a mantalei rezervoarului.

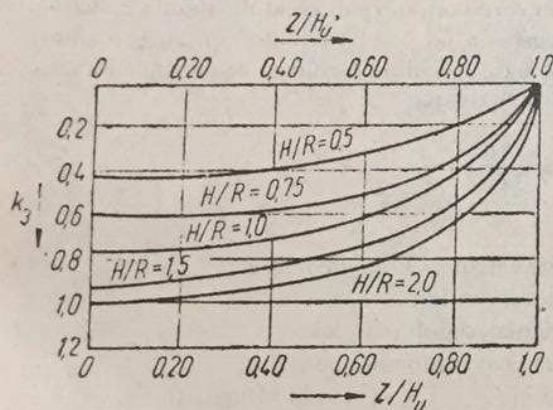


Fig. 3.6. Nomogramă pentru determinarea coeficientului k_3 .

(fig. 3.6): p_g - presiunea din spațiul de gaze (conform STAS 6579-71, $p_g = 200 \text{ mm H}_2\text{O} = 1960 \text{ N/m}^2$).

Tinând seama de construcția sudată a mantalei și acțiunea corosivă a mediului, precum și adoptarea unei grosimi standardizate de tablă, grosimea de proiectare a virolei de rang i se determină cu relația:

$$s_{n,i} = \delta_{n,i} + C_i + C_r \quad (3.5)$$

în care C_i este adaosul de coroziune; C_r - adaosul pentru rotunjirea valorii obținute la o valoare întreagă.

3.3. REZERVOARE CILINDRICE VERTICALE CU ELEMENTE PLUTITOARE

Necesitatea reducerii continue a pierderilor de produse prin vaporizare, în cazul depozitării produselor volatile, a condus la realizarea unor noi tipuri de rezervoare, din categoria cărora fac parte rezervoarele cu capace plutitoare sau cu

ecrane plutitoare. Concomitent cu reducerea substanțială a pierderilor prin vaporizare, folosirea rezervoarelor cu capace plutitoare a însemnat și diminuarea considerabilă a pericolului de incendiere, prin eliminarea spațiului de gaze de deasupra produsului depozitat.

Și pentru aceste tipuri de rezervoare, problemele constructive ale mantalelor sau fundurilor se rezolvă în mod identic, construcția capacului fiind diferită. Practic se folosesc două tipuri principale de rezervoare cu elemente plutitoare:

- rezervoare atmosferice cu ecrane plutitoare și capac fix;
- rezervoare atmosferice cu capace plutitoare, capacul plutitor preluând în acest caz și funcția capacului fix.

În figura 3.7 este reprezentat schematic un rezervor atmosferic cu ecran plutitor. Se constată că pe suprafața liberă a produsului petrolier se așază un ecran, lăsându-se un spațiu inelar îngust între conturul periferic al ecranului și conturul interior al mantalei, limitându-se în acest mod suprafața de vaporizare.

În practica mondială a depozitării produselor petroliere se întâlnesc următoarele variante constructive de ecrane plutitoare:

- ecrane plutitoare rigide, confecționate din panouri de spumă poliuretanică rigidă asamblate între ele și acoperite cu foi subțiri de aluminiu;
- ecrane plutitoare elastice din țesături textile impregnate și protejate cu soluții speciale și fixate la o cameră de plutire inelară;
- ecrane plutitoare din materiale plastice (poliamidice) care plutesc, cu ajutorul unor pontoane din aluminiu, așezate pe conturul periferic al ecranului, pe suprafața liberă a produselor petroliere depozitate.

Toate tipurile de ecrane sunt echipate pe contur cu sisteme elastice de etanșare periferică care asigură atât etanșeitatea ecranului cu mantaua cât și deplasarea ușoară a ecranului în interiorul rezervoarului. Pentru prevenirea rotirilor ecranului plutitoare în interiorul rezervoarelor, acestea sunt prevăzute cu dispozitive de ghidare. Defecțiunile frecvente ce se întâlnesc în exploatarea ecranului plutitoare sunt:

- deformarea ecranului plutitor, ca urmare a presării lui de construcția metalică a capacului, în urma supraamplării rezervoarului;
- formarea unor pungi de gaze deasupra ecranului, dacă nu se prevăd armături de ventilație a acestui spațiu;
- pierderea etanșeității pontoanelor în timpul funcționării, controlul acestei etanșeități fiind practic imposibil de realizat pe durata funcționării.

În cazul rezervoarelor tehnologice (operative) folosite în industriile petroliere prelucrătoare, petrochimică și chimică, cu cicluri mari de încărcare-des-

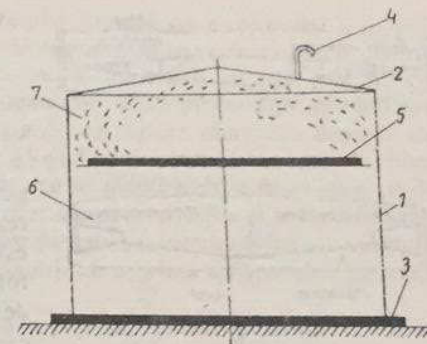


Fig. 3.7. Rezervor atmosferic cu ecran plutitor. 1 - mantaua rezervorului; 2 - capacul fix; 3 - fundul rezervorului; 4 - armătura de respirație; 5 - ecran plutitor; 6 - lichidul depozitat; 7 - vapori de lichid.

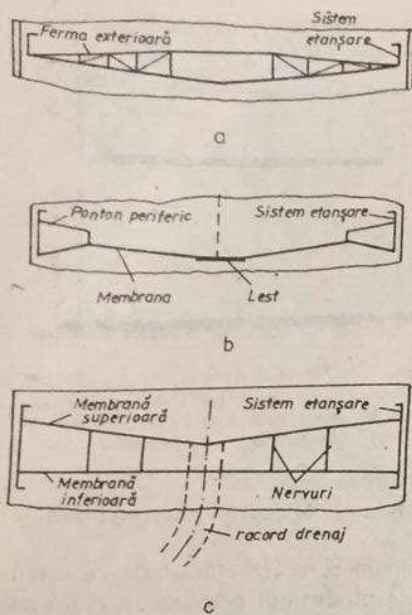


Fig. 3.8. Variante constructive de capace plutitoare (scheme):

a - plan cu fermă exterioră, b - de tip ponton, c - dublu.

cu grindă transversală interioară și ponton periferic inelar (cu capacitate ridicată de reținere a vaporilor produsului petrolier).

- *Capace plutitoare cu pontoane* (fig. 3.8. b) prevăzute pe contur cu pontoane independente sau cu un ponton inelar compartimentat prin pereți despărțitori. Aceste capace plutitoare sunt folosite în mod curent, în construcția rezervoarelor petroliere. Discul central al capacului este înclinat spre centrul rezervorului pentru a permite acumularea și evacuarea apei de ploaie sau de zăpadă. În timpul exploatării rezervorului, datorită presiunii vaporilor rezultați din vaporizarea produsului petrolier depozitat, săgeata capacului se inversează formând un spațiu de acumulare a vaporilor degajați. În sezonul cald se recomandă ca în zona centrală a capacului plutitor să se mențină un strat de apă cu grosimea de 3 ... 4 mm pentru a reduce pierderile prin evacuare.

- *Capace plutitoare duble* (fig. 3.8. c) construite din două membrane rigidizate între ele prin nervuri radiale și circulare. Membrana inferioară este înclinată spre centrul rezervorului, formându-se un spațiu liber închis, în care se acumulează vaporii ce se degajă din masa produsului depozitat. Suprafața membranei superioare a capacului, este, de asemenea, înclinată, coborând către centrul rezervorului asigurând astfel colectarea apei de ploaie sau din zăpadă către centru, de unde este drenată. Perna de aer ce se crează între cele două membrane are rol de izolator termic, prevenind încălzirea și vaporizarea internă a produselor petroliere depozitate.

cărcare pe an este rentabilă folosirea rezervoarelor atmosferice cu capace plutitor.

Capacul plutitor propriu-zis reprezintă un disc executat în construcție sudată, din tablă de oțel cu grosimea de 4 ... 5 mm, care plutește pe suprafața liberă a produsului petrolier depozitat în rezervorul atmosferic. Conturul discului este prevăzut cu un inel care are atât rolul de a rigidiza capacul plutitor cât și de a închide interstițiul dintre manta și capac (v. fig. 3.9. a). În prezent în construcția rezervoarelor petroliere atmosferice se întâlnesc următoarele tipuri de capace plutitoare.

- *Capace plutitoare plate* (fig. 3.8. a) care au forma unei plăci circulare, ce plutește pe suprafața liberă a produsului depozitat, prevăzută cu sisteme de etanșare pe contur; constructiv, ele pot fi, cu fermă exterioră (caracterizat prin construcție complicată), cu fermă interioară (care poate ceda ușor sub acțiunea sarcinilor date de apa de ploaie sau de zăpadă),

În scopul prevenirii înclinării ecranului plutitor sau a capacului în timpul ridicării sau coborârii sale, ca urmare a înțepenirii în imperfecțiunile de fabricație ale mantalei, diametrul ecranului sau al capacului se face mai mic cu 0,2 ... 0,4 m decât diametrul interior al mantalei. În aceste condiții, eficacitatea rezervoarelor petroliere echipate de ecrane sau capace plutitoare depinde de tipul și calitatea sistemului de etanșare adoptat pentru închiderea spațiului liber dintre manta și capac. Soluția de etanșare ce se adoptă trebuie să asigure, pe de o parte, o completă etanșare pe toată periferia capacului, chiar și în locurile unde mantaua prezintă neregularități de la circularitate sau supraînălțări ale cusăturilor sudate, precum și posibilitatea deplasării cu ușurință a capacului sau ecranului.

Sistemele de etanșare utilizate până în prezent, în construcția de rezervoare petroliere cu ecrane plutitoare sau cu capace plutitoare, se pot grupa în două mari clase, și anume:

- *mecanice* (semirigide) al căror principiu de funcționare se bazează pe principiul pârghiilor;

- *flexibile* (elastice) care pot fi cu: manșon inelar umplut fie cu lichide incongelabile, fie cu aer comprimat, dispozitive de apăsare din foi de materiale textile cauciucate sau din elemente elastice monolitice, ori cu dispozitive de apărare din spume plastice.

În figura 3.9, sunt reprezentate câteva tipuri de etanșări folosite în construcția rezervoarelor cu ecran plutitor sau cu capac plutitor.

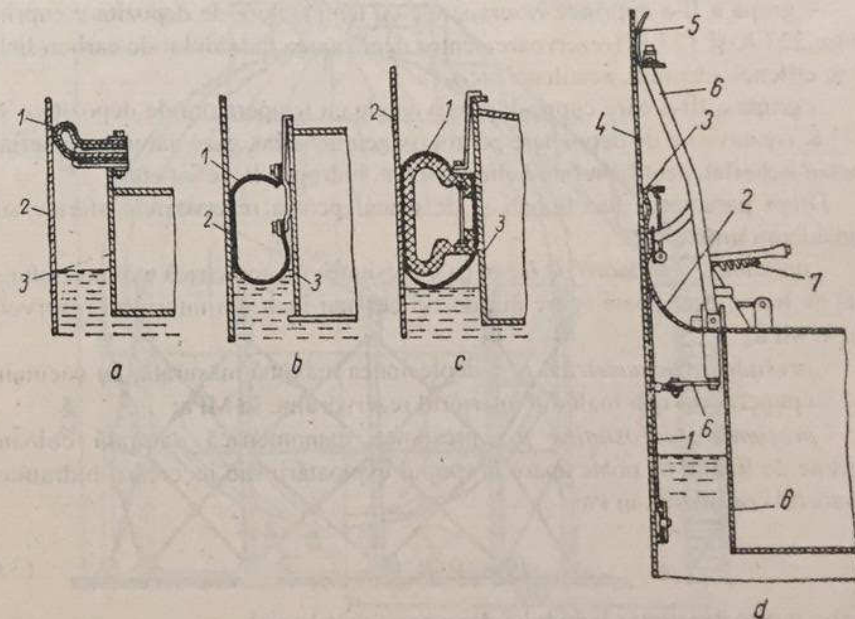


Fig. 3.9. Sisteme de etanșare întâlnite în construcția rezervorului cu capac plutitor:
 a, b, c - elastic cu buclă: 1 - buclă de etanșare; 2 - mantaua rezervorului; 3 - capac plutitor; d - mecanic: 1 - placă de etanșare; 2 - șort de etanșare; 3 - dispozitivul de agățare al șortului; 4 - mantaua rezervorului; 5 - suport basculant; 6 - pârghii; 7 - arc; 8 - capacul plutitor.

3.4. REZERVOARE SFERICE

3.4.1. Generalități

Depozitarea produselor petroliere ușoare, cu tensiunea de vapori ridicată, în rezervoarele cilindrice standard ar conduce la mari pierderi prin evaporare. În scopul micșorării acestor pierderi este necesară depozitarea produselor petroliere cu tensiune de vapori ridicată sub presiune, în rezervoare cilindrice orizontale sau rezervoare sferice. Dezavantajul unei capacități mici, de depozitare raportate la suprafața ocupată cât și a consumului ridicat de metal, face ca depozitarea în rezervoare cilindrice orizontale să fie mai rar utilizată. Depozitarea în rezervoare sferice este preferată, pe de o parte datorită lichidării totale a pierderilor prin mica respirație și a reducerii considerabile a pierderilor prin marea respirație, pe de altă parte. Considerând regimul de depozitare (presiune și temperatură), rezervoarele sferice fac parte din categoria rezervoarelor de depozitare sub presiune, iar având în vedere temperatura de depozitare a gazelor lichefiate tehnice, rezervoarele metalice sferice se pot grupa în trei grupe:

- grupa I, ce cuprinde rezervoarele cu temperatura de depozitare cuprinsă între 273 K și 223 K (rezervoare pentru depozitarea amoniacului, propanului, butanului, propilenei, gazelor petroliere lichefiate etc.);
- grupa a II-a cuprinde rezervoarele cu temperatura de depozitare cuprinsă între 223 K și 123 K (rezervoare pentru depozitarea dioxidului de carbon lichefiat, etilenei, etanului, acetilenei etc.);
- grupa a III-a care cuprinde rezervoarele cu temperatura de depozitare sub 123 K (rezervoare de depozitare pentru oxigen lichefiat, gaze naturale lichefiate, metan lichefiat, azot lichefiat, heliu lichefiat, hidrogen lichefiat etc.)

Drept parametrii funcționali și de calcul pentru rezervoarele sferice sunt considerați următorii:

- *presiunea interioară de lucru* (p_i), presiunea manometrică maximă admisibilă de lucru, care poate apărea în punctul cel mai înalt din interiorul rezervorului, în MPa;
- *presiunea vacuumetrică* p_{vac} , depresiunea maximă măsurată, cu vacuometrul, în punctul cel mai înalt din interiorul rezervorului, în MPa;
- *presiunea hidrostatică* p_{hl} , presiunea manometrică datorată coloanei maxime de lichid, ce poate apărea în timpul exploatării sau încercării hidraulice, în punctul considerat, în Pa:

$$p_{hl} = \rho \cdot g \cdot h_i \quad (3.6)$$

în care: ρ este densitatea lichidului din rezervor, în kg/m^3 ;

g - accelerația gravitațională, în m/s^2 ;

h_i - înălțimea coloanei de lichid măsurată între punctul considerat și suprafața liberă a lichidului.

Conform figurii 3.10, înălțimea coloanei de lichid într-un punct curent, i , este:

$$h_i = R_i (\cos \varphi_0 - \cos \varphi_i); \quad (3.7)$$

- *presiunea manometrică de calcul* p_{cl} este presiunea maximă la care se calculează mantaua rezervorului:

$$p_{cl} = p_i + p_{hl} - \text{dacă } p_{hl} > 0,05 \text{ MPa} \quad (3.8)$$

$$p_{cl} = p_i - \text{dacă } p_{hl} < 0,05 \text{ MPa} \quad (3.9)$$

În cazul rezervoarelor ce lucrează la presiunea vacuumetrică, drept presiune manometrică de calcul se consideră:

$$p_{cl} = 0,1 \text{ MPa} \quad (3.10)$$

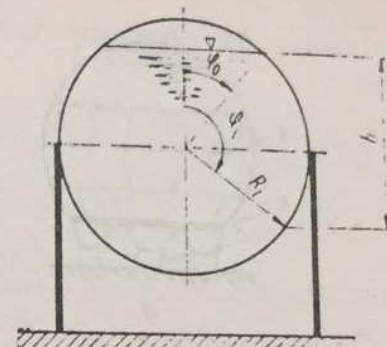


Fig. 3.10. Schema de calcul a înălțimii coloanei de lichid în punctul curent.

3.4.2. Elemente constructive și de calcul

Rezervorul sferic se prezintă ca o construcție complet sudată, compus dintr-o serie de segmente ambuțisate (fig. 3.11) și rezemat pe un sistem de rezemare, care poate fi realizat în diverse variante constructive. Rezervorul este

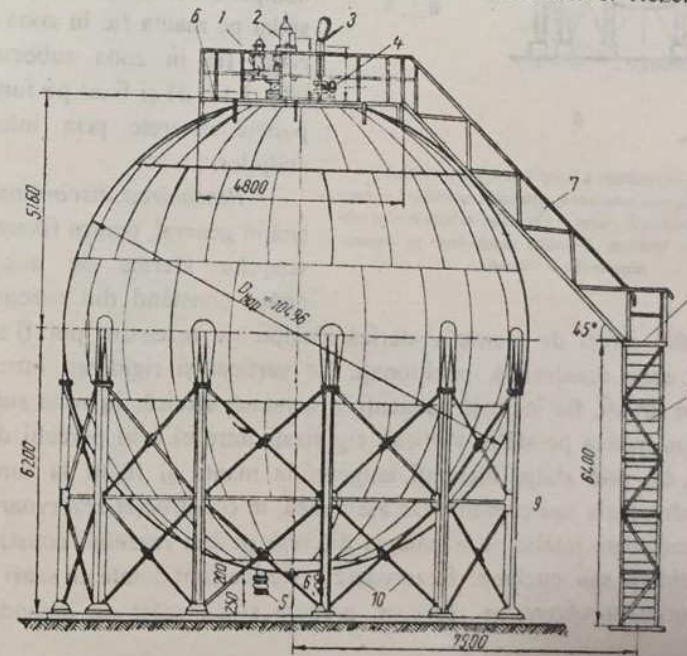


Fig. 3.11. Schema generală și de componentă a unui rezervor sferic.

- 1 - supapă de siguranță; 2 - indicator de nivel; 3 - aparatul de măsurare a nivelului, temperaturii;
4 - robinet cu deschidere rapidă; 5 - racord pentru încărcare-descărcare; 6 - racord de drenare;
6 - podeț superior; 7 - scări; 8 - podeț între scări; 9 - stâlpi; 10 - tiranți.

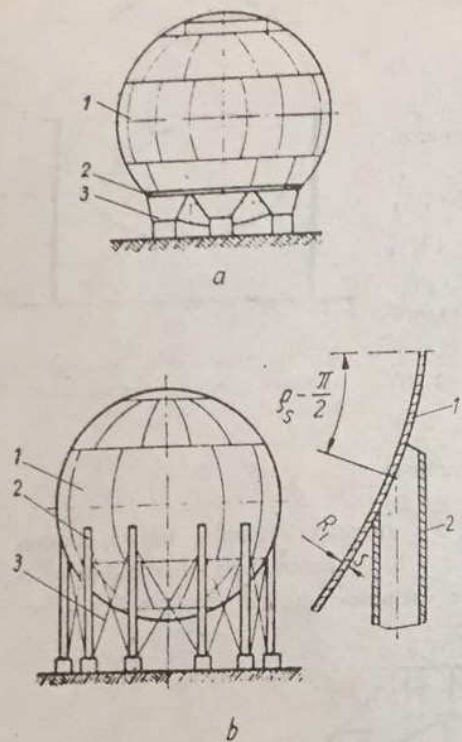


Fig. 3.12. Rezemarea rezervoarelor (scheme):
a - pe inel continuu cu rezemare în zona subecuatorială; 1 - rezervor; 2 - inel continuu; 3 - stâlpi; *b* - pe stâlpi verticali în zona subecuatorială; 1 - rezervor; 2 - stâlpi sudați direct pe mantaua rezervorului; 3 - tiranți.

stâlpi sudați direct de mantaua sferică. Stâlpii de rezemare pot fi sudați de manta în: zona ecuatorială, poziționați, fie vertical și rigidizați între ei prin perechi de tiranți, fie înclinat, tangenți la mantaua sferică; în zona subecuatorială, de asemenea pe stâlpi verticali rigidizați între ei prin perechi de tiranți (fig. 3.12, *b*), prin stâlpi înclinați tangenți la manta și fixați la fundație în puncte individuale sau comune. De asemenea, în construcția rezervoarelor sferice se mai poate întâlni și rezemarea discretă pe trei reazeme constituite din stâlpi înclinați sau cuzineți. Rezervoarele sferice sunt dotate cu scări de acces la armăturile prevăzute pe rezervor, precum și cu scări de incendiu și de salvare.

Grosimea mantalei rezervoarelor sferice se determină, de obicei, considerându-se numai suprapresiunea interioară, fără considerarea influenței încovierii locale datorită concentratorilor de tensiuni în zona de rezemare. În aceste

prevăzute cu un podeț superior care permite accesul la armăturile de deservire ale rezervorului constituite din: supapă de siguranță 1, indicatorul de nivel cu plutitor 2, aparatură complexă de măsurare a nivelului, temperaturii și recoltarea probelor 3, robinetul cu deschidere rapidă 4. La partea inferioară a rezervorului sunt prevăzute racorduri pentru încărcarea și descărcarea rezervorului 5, precum și racordul de drenare 6. Rezemarea și fixarea pe fundație a rezervorului sferic se poate executa prin una din următoarele soluții:

- *Rezemarea continuă pe inel*, la care sistemul de rezemare se compune dintr-un inel continuu sudat pe manta fie în zona ecuatorială, fie în zona subecuatorială (fig. 3.12, *a*) și fixat pe fundație în puncte discrete prin intermediul stâlpilor.

- *Rezemarea discontinuă*, folosită în general, pentru fixarea rezervoarelor sferice de mici capacități, constând din rezemarea pe

condiții, cunoscându-se capacitatea de depozitare a rezervorului sferic, se calculează diametrul interior:

$$D_i = \sqrt{\frac{6V}{\pi}} \quad (3.11)$$

iar grosimea mantalei se calculează cu relația:

$$s = \frac{p \cdot D_i}{4\varphi \cdot \sigma_s - p} + c_1 + c_2 \quad (3.12)$$

în care p , se calculează cu una din relațiile (3.8), (3.9) sau (3.10).

Tehnologia de asamblare și montare a rezervoarelor sferice este prezentată în capitolul 16.

4.

DISPOZITIVE DE AMESTECARE

Procesele fizice sau chimice se desfășoară cu atât mai complet, cu cât substanțele implicate se află într-un amestec mai omogen.

Amestecarea este o operație de omogenizare a două sau a mai multor substanțe cu scopul obținerii aceleiași compoziții (omogenizare mecanică) sau/și a aceleiași temperaturi (omogenizare termică), în întregul volum ocupat de substanțe. Procesele de amestecare se utilizează pentru accelerarea reacțiilor chimice, omogenizarea amestecurilor, dizolvarea, accelerarea unor procese fizice, îmbunătățirea transferului termic etc. Amestecarea, ca fază distinctă de fabricație, se efectuează în utilaje speciale. Acestea pot fi cu sau fără elemente în mișcare.

Amestecurile care pot fi obținute, în funcție de starea fizică a substanțelor de amestecat (gaze, lichid, solid) și omogenizarea produsului obținut, sunt indicate în figura 4.1.

În cazul în care dispozitivul are drept scop doar menținerea în timp a unei dispersii, acesta mai este numit și *agitator*. Dacă substanțele amestecate au vâscozități foarte mari (paste, topituri), utilajul corespunzător pentru amestecare se numește *malaxor*.

Amestecarea se poate face: fără dispozitive în mișcare, prin trecerea, sub presiune, a unui fluid printr-un lichid; prin mișcarea rotativă a amestecătorului; prin mișcarea de translație alternativă (vibratoare) a amestecătorului.

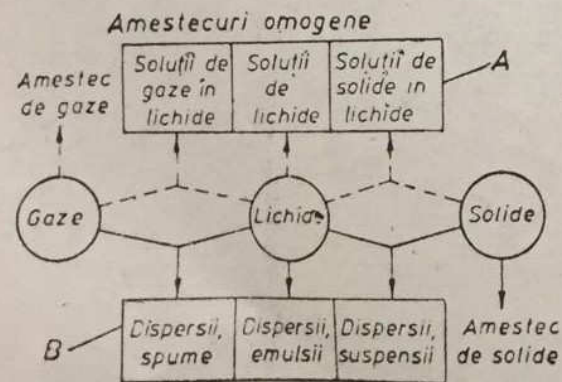


Fig. 4.1. Amestecuri omogene și eterogene.

4.1. UTILAJE PENTRU AMESTECAREA CU DISPOZITIVE ROTATIVE

Uneori amestecarea se produce în pompe rotative care asigură circulația fluidului, *A*, dintr-un recipient. În acest scop, înaintea pompei se introduce cel de-al doilea fluid, *B*. Se aplică la agitarea lentă a cantităților mari de lichid. Cantitatea de lichid *B* este mult mai mică decât *A*. În general, dispozitivele de amestecare rotative se introduc într-un recipient în care se aduc substanțele care urmează a fi amestecate (fig. 4.2).

Procesul de amestecare poate fi continuu sau discontinuu și poate avea loc la presiune atmosferică, sub presiune sau sub depresiune. Construcția utilajului, numărul și dispunerea amestecătoarelor se stabilesc în funcție de particularitățile procesului de amestecare și de vâscozitatea substanțelor amestecate.

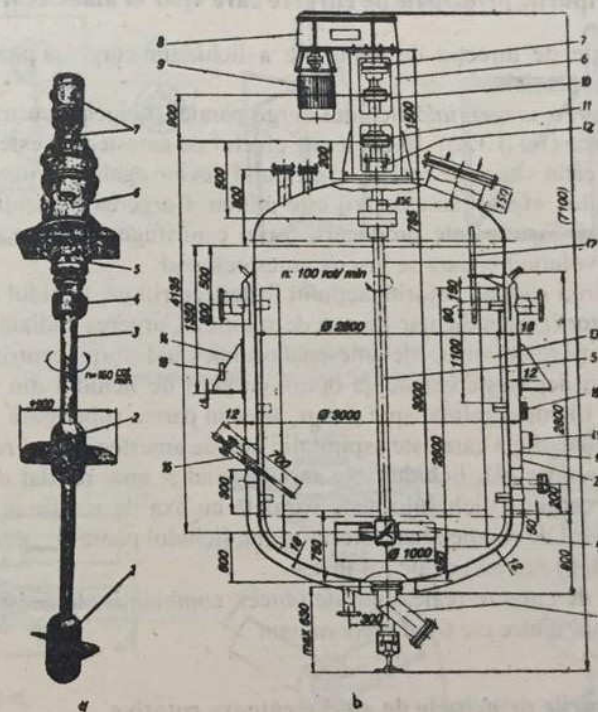


Fig. 4.2. Dispozitiv de amestecare:

a - componentele principale ale dispozitivului de amestecare. 1 și 2 - amestecătoare. 3 - arbore. 4 - cuplaj. 5 - dispozitiv de etanșare. 6 - suport. 7 - motoreductor. *b* - dispozitiv de amestecare fixat pe un recipient. 1 - corp recipient. 2 - manșă de încălzire. 3 - robinet cu ventil. 4 - amestecător turbină cu șase pale înclinate la 45°. 5 - arbore. 6 - suport (tură). 7 - cuplaj elastic. 8 - reductor. 9 - motor. 10 și 11 - casete rulmenți. 12 - dispozitiv de etanșare. 13 - șicană. 14 - reazem lateral. 15 - placă de timbru. 16 - termocuplu. 17 - teacă termocuplu. 18 - dispozitiv de legare la pământ. 19 - izolație termică.

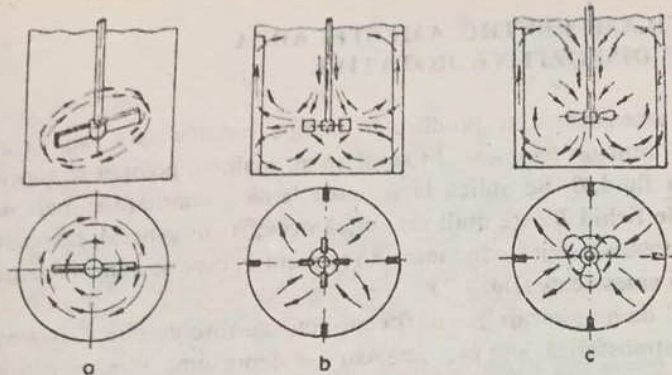


Fig. 4.3. Spectre de curgere:
a - tangențial, b - radial, c - axial

4.1.1. Tipurile principale de curgere care apar la amestecare

În funcție de direcția de deplasare a lichidului curgerea poate fi: radială, axială sau tangențială.

La *curgerea tangențială* lichidul curge paralel (tangent) cu traseul deschis de amestecător (fig. 4.3, a). În acest caz efectul de amestecare este redus. La limită, atunci când viteza de rotație a lichidului devine egală cu viteza de rotație a amestecătorului, efectul amestecării este minim. Curgerea tangențială se obține la viteze mici, insuficiente producerii forței centrifuge necesare expulzării lichidului din volumul în care se înscrie amestecătorul.

La *curgerea radială* datorită acțiunii forței centrifuge, lichidul este expulzat radial din rotor (perpendicular pe axa de rotație). Curgerea radială (fig. 4.3, b) începe la rotații relativ mari ale amestecătorului, când forța centrifugă la periferia rotorului depășește rezistența opusă curgerii de lichid din afara spațiului rotorului. Lichidul refulat spre perete, urcă în partea superioară și coboară în partea inferioară, după care este aspirat din nou de amestecător și refulat radial.

La *curgerea axială*, lichidul este aspirat axial și apoi refulat de către rotor (fig. 4.3, c); curgerea lichidului este paralelă cu axa de rotație a rotorului. În funcție de sensul de rotație al amestecătorului, lichidul poate fi „pompat” de sus în jos (fig. 4.3, c) sau invers, de jos în sus.

Spectrele de curgere reale sunt, de obicei, combinații ale acestor trei tipuri de curgere, unul dintre ele fiind predominant.

4.1.2. Tipurile principale de amestecătoare rotative

Amestecătoarele pot fi clasificate după: forma constructivă; spectrul de curgere predominant pe care-l produc; viteza de rotație.

Din punct de vedere al formei constructive, se disting următoarele grupe principale de amestecătoare:

- cu paletă și cu cadru (fig. 4.4); cu brațe (fig. 4.5); cu ancoră și cu rame (fig. 4.6); cu elice cu trei pale (tip marin) sau cu două pale (fig. 4.7); cu turbină

sau centrifugal (fig. 4.8); elicoidale (fig. 4.9); cu brațe curbe tip *impeller* (fig. 4.10). Unele amestecătoare pot fi cuprinse simultan în mai multe grupe. De exemplu, amestecătorul tip *impeller* este cu brațe, însă are caracteristicile funcționale ale unui amestecător turbină.

Din punct de vedere al vitezei periferice, se disting amestecătoare lente (de mică viteză) și amestecătoare rapide (de mare viteză).

Din punct de vedere al spectrului de curgere se constată următoarele:

- spectru de curgere predominant tangențial produc amestecătoarele cu paletă și brațe drepte;
- spectru de curgere pronunțat radial produc amestecătoarele turbină și îndeosebi cele cu turbină cu stator cu elemente directoare;
- spectru de curgere axial produc amestecătoarele elice (mai ales când sunt introduse într-un tub de tiraj), elicoidale (unele și cu benzi elicoidale).

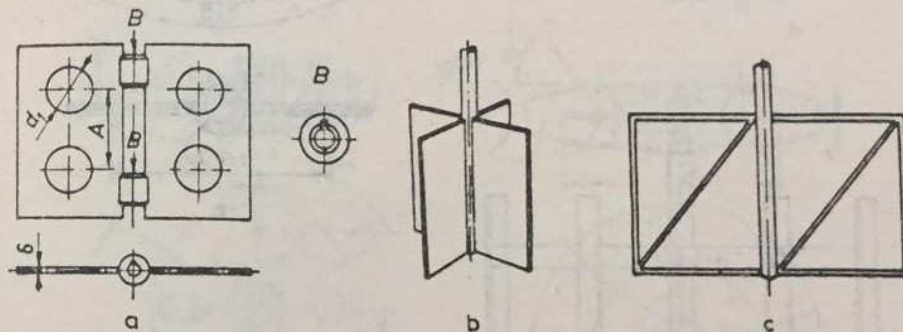


Fig. 4.4. Amestecător:
a - cu paletă simplă, b - cu paletă dublă, c - cu cadru

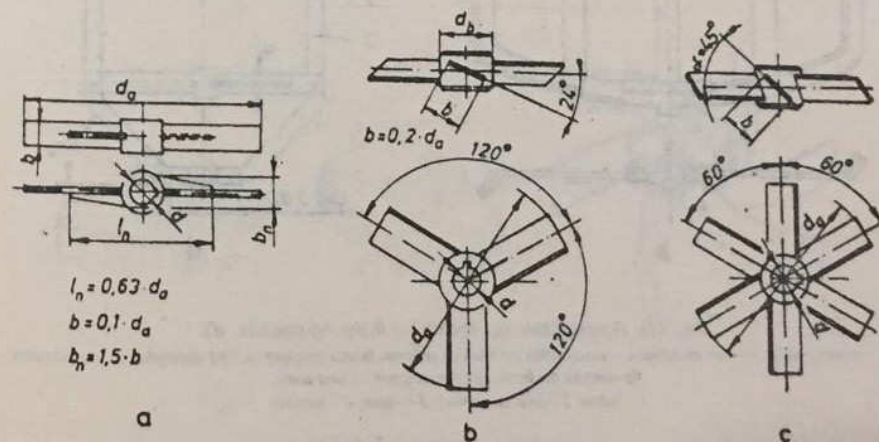


Fig. 4.5. Amestecător cu brațe:

a - cu două brațe plane nervurate; b - cu trei brațe plane; c - cu șase brațe plane înclinate.

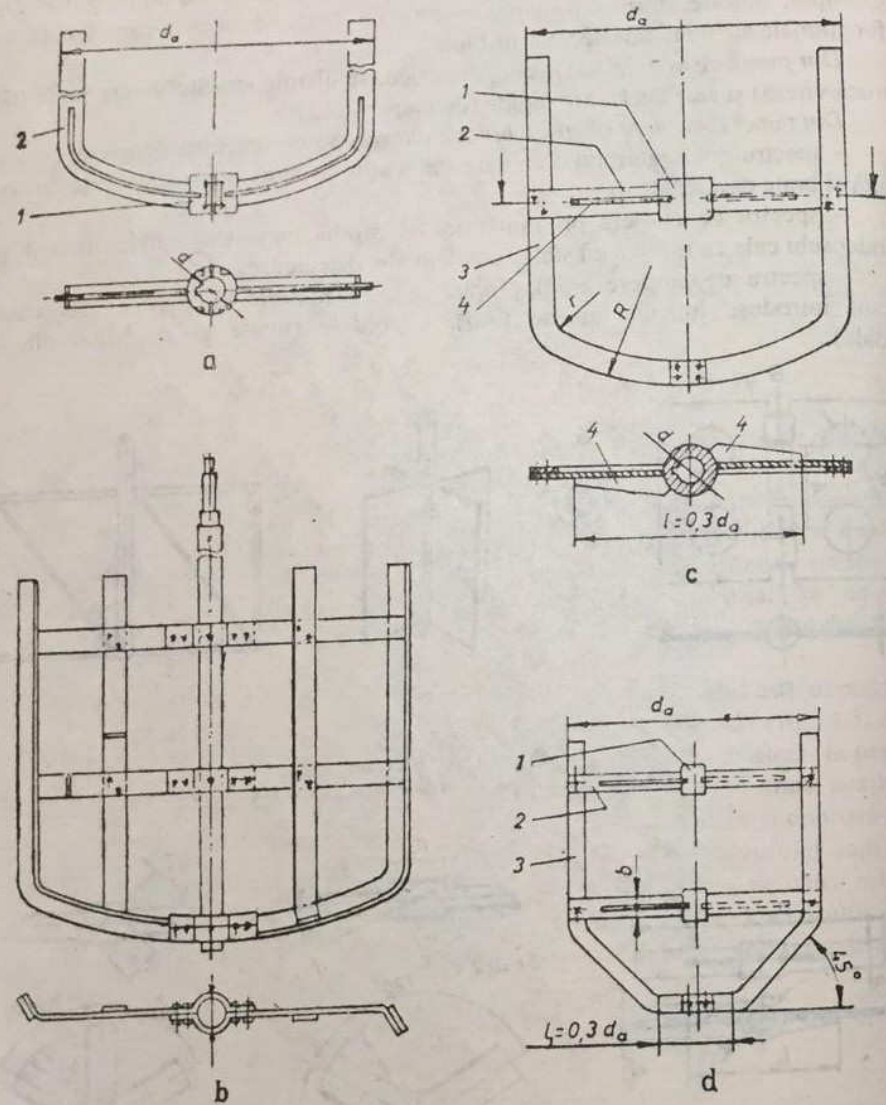


Fig. 4.6. Amestecător tip ancoră (a, b) și tip ramă (c, d):

a - ancoră simplă; b - ancoră dublă; c - amestecător tip ramă cu un butuc pentru recipient cu fund elipsoidal; d - amestecător tip ramă cu doi butuci, pentru recipient cu fund conic;
 1 - butuc; 2 - braț cu nervură; 3 - ramă; 4 - nervură.

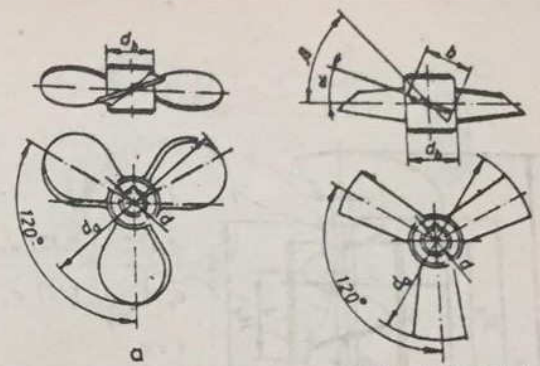


Fig. 4.7. Amestecător elice;
 a - cu trei pale, turnat, b - cu trei pale su-
 date de butuc, având pasul \$t\$ constant la
 diametrele \$d\$ și \$d_a\$.

$$l = (0,6; 0,8; 1,0; 1,2) \cdot d$$

$$d_b = (0,3 \dots 0,4) \cdot d_a$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d_a}{d_b} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

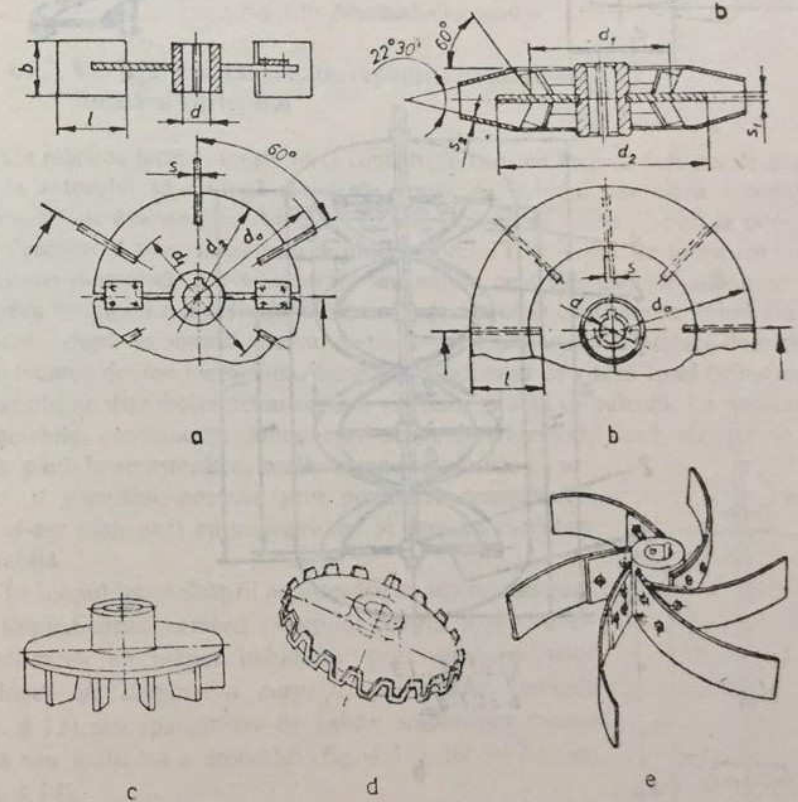


Fig. 4.8. Amestecător turbină:

a - turbină deschisă; b - turbină închisă; c - turbină cu pale drepte; d - turbină sub formă de disc cu periferia zimțată; e - turbină cu pale curbe, demontabile.

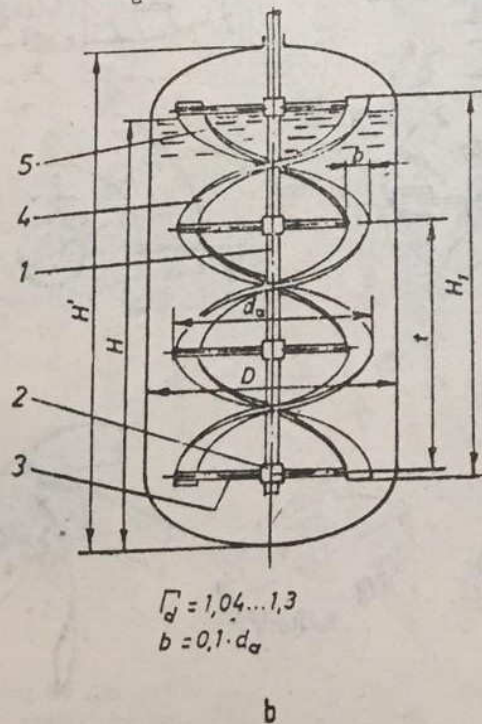
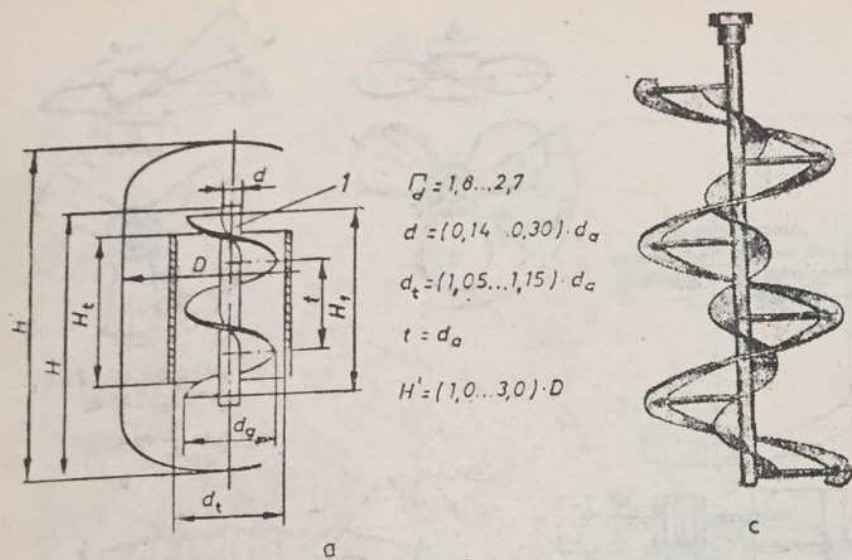


Fig. 4.9. Amestecător elicoidal.

a - cu melc; b - cu două benzi elicoidale egale; c - cu două benzi elicoidale cu pas diferit; 1 - arbore; 2 - bușă; 3 - traversă radială; 4 și 5 - benzi elicoidale.

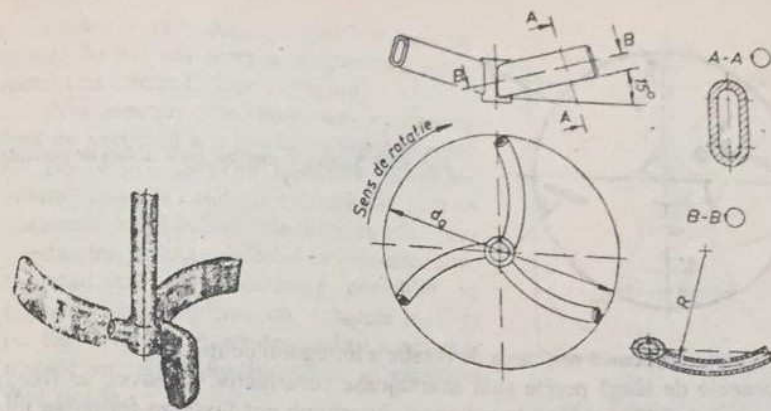


Fig. 4.10. Amestecător tip impeller.

4.1.3. Vârtejul central și măsuri pentru împiedicarea formării vârtejului

Cu mărirea turației crește forța centrifugă, ceea ce face ca lichidul de la periferia rotorului să învingă rezistența opusă de lichidul din afara volumului „măturat” de amestecător. Lichidul refulat face să se ridice nivelul la peretele recipientului și să se micșoreze în jurul arborelui (fig. 4.11). Se formează o depresiune, denumită „vârtej central” sau pâlnie centrală, care se adâncește cu mărirea turației. La amestecătoarele cu brațe, întreaga cantitate de lichid din recipient - după un anumit interval de timp - este antrenată în mișcare de rotație; amestecarea devine ineficientă, deoarece gradientul de viteză fiind neînsemnat, nu se obține distribuție neuniformă a vitezelor și deci turbulență. La depresiuni apreciabile, randamentul amestecării scade considerabil. Dacă vârtejul se extinde până la amestecător, acesta începe să vibreze ca urmare a șocurilor produse prin pomparea amestecului lichid-aer (sau gaz) cu concentrație și deci cu densitate variabilă.

În scopul îmbunătățirii amestecării se iau măsuri pentru împiedicarea formării vârtejului central și pentru intensificarea circulației lichidului, prin utilizarea unor mijloace de dirijare a curgerii, ca: șicane verticale (fig. 4.12) sau spărgătoare de valuri; amplasarea excentrică sau înclinată a arborelui (fig. 4.13); tuburi de tiraj (fig. 4.14).

Șicanele verticale sunt platbande sau țevi cu pale; ele se așază pe o circumferință la o anumită distanță de perete, vertical, paralel cu axa arborelui amestecătorului (v. fig. 4.2, b).

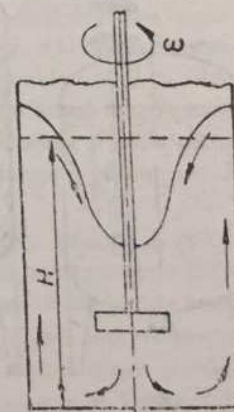


Fig. 4.11. Formarea vârtejului central.

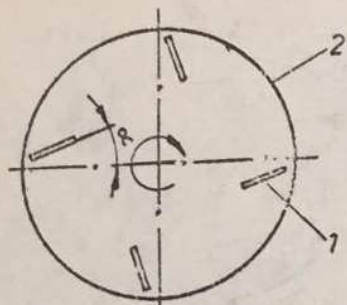


Fig. 4.12. Șicane, 1, montate înclinat față de peretele 2.

Șicanele împiedică mișcarea de rotație a întregului conținut.

Șicanele de lângă perete sunt avantajoase constructiv, deoarece se fixează mai ușor și rezistă mai bine la solicitări, în schimb pot favoriza formarea unor zone de stagnare a lichidului în fața șicanei, în spatele acesteia, formându-se vârtejuri locale.

Prezența șicanelor duce la mărirea puterii necesare amestecării. Amplasarea și dimensiunile lor sunt importante la amestecătoarele cu spectru de curgere predominant axial sau radial.

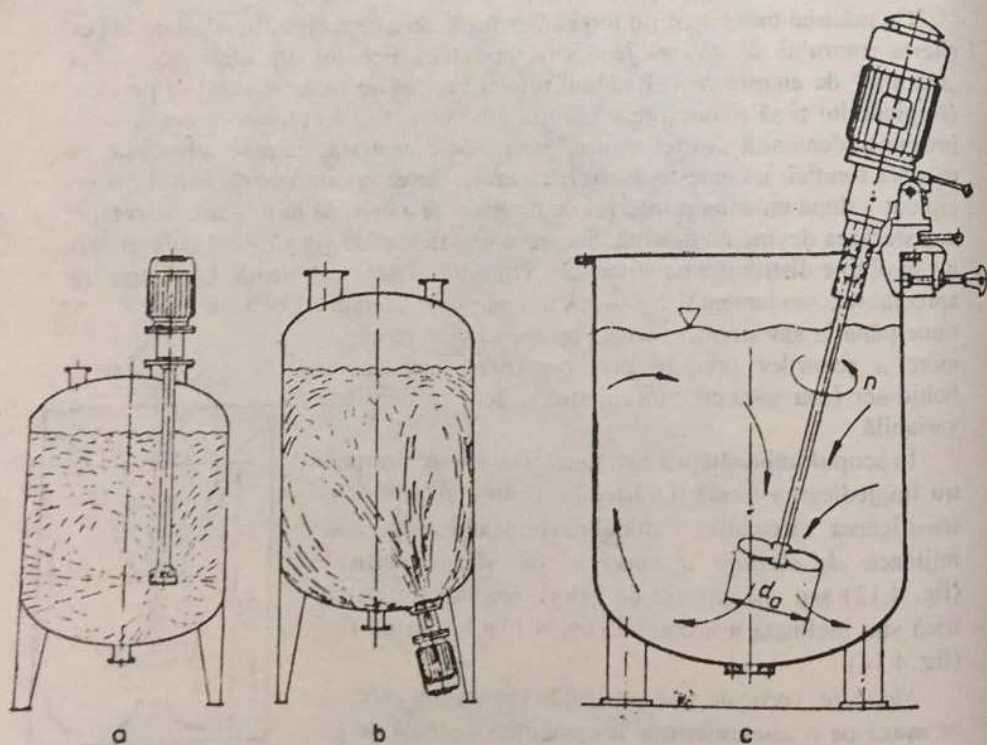


Fig. 4.13. Amplasarea arborelui amestecătorului:

a - excentrică la partea superioară, b - excentrică la partea inferioară, c - înclinat față de verticală.

Șicanele verticale, în mod obișnuit în număr de trei sau patru se amplasează echidistant pe circumferința recipientului.

Prin montarea înclinată sau excentrică față de verticală a arborelui amestecătorului (v. fig. 4.13), se evită formarea vârtejurii centrale, datorită condițiilor diferite în care se găsește lichidul în punctele dintr-un plan perpendicular pe axa arborelui amestecătorului. Dispozitivele de amestecare portabile se introduc în recipient, cu arborele înclinat (v. fig. 4.13, c). În aceste condiții amestecătoarele tip elice pot funcționa în recipient fără șicane.

Tuburile de tiraj se utilizează pentru dirijarea curentului de lichid și trecerea întregului lichid din recipient prin zona amestecătorului, zonă intensă de amestecare. Se asigură astfel circulația lichidului și este împiedicată formarea vârtejurii centrale. Tuburile de tiraj se utilizează la amestecătoarele de tip elice (v. fig. 4.14), de tip turbină și la cele cu melc.

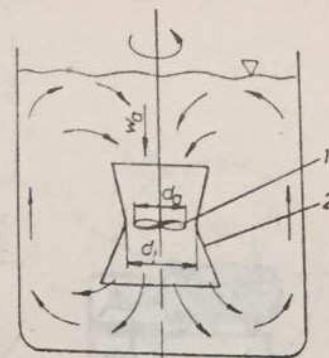


Fig. 4.14. Amestecător elice, 1, în unitatea funcțională cu un tub de tiraj, 2.

4.1.4. Amplasarea dispozitivelor de amestecare

Dispozitivele de amestecare în recipiente verticale se amplasează centric sau excentric pe la partea superioară (v. fig. 4.2 și fig. 4.13, a) sau pe la partea inferioară (v. fig. 4.13, b) sau orizontal, prin suprafața laterală a recipientului.

La recipientele sferice amestecătoarele se amplasează de regulă, prin partea inferioară (fig. 4.15); uneori se prevăd și dispozitive de amestecare în jumătatea superioară a recipientului, 6 - (fig. 4.15). Dispozitivele de amestecare introduse pe la partea inferioară a recipientelor au arborii mai scurți; sunt deci mai rigide.

În rezervoarele de mare capacitate se introduc, de regulă, mai multe dispozitive de amestecare, de exemplu, pe la partea superioară: unul central și altele echidistant față de centru (fig. 4.16) sau numai pe o circumferință la o anumită distanță față de centru. Arborii amestecătoarelor pot fi introduși și pe la partea inferioară a recipientului, vertical, fiind amplasați, de exemplu, pe un cerc cu raza de $(0,33 - 0,4) D$.

Pentru amestecarea pastelor, cremelor, a unor suspensii, precum și pentru producerea unor emulsii care se formează cu ușurință din componentele lor se recurge la dispozitive de amestecare cu mișcare planetară. Arborele cu amestecătoare se rotește în jurul axei proprii cu turația n_2 și în jurul axei recipientului cu turația n_1 (fig. 4.17). În varianta din figura 4.17, arborele 4 este prevăzut cu un amestecător tip ramă, care raclează peretele recipientului. Tot în acest scop se utilizează rama 5, profilată după interiorul recipientului și care se rotește cu turația n_1 .

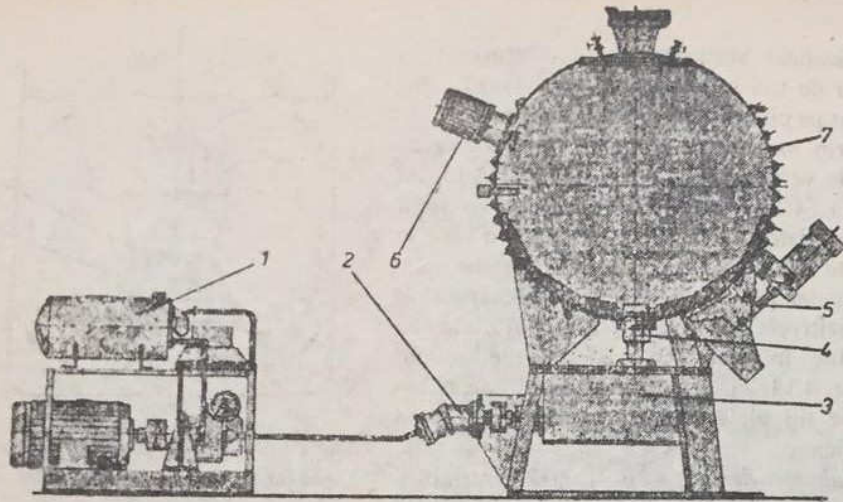


Fig. 4.15. Recipient sferic cu amestecator-raclor pentru obtinerea unor produse (masic) de foarte mare vâscozitate:

1 - grup hidraulic; 2 - motor hidraulic; 3 - reductor; 4 - amestecator-raclor; 5 - dispozitiv de inchidere pneumatica; 6 - motor pentru antrenarea unui amestecator-dezintegrator rapid; 7 - serpentina de incalzire.

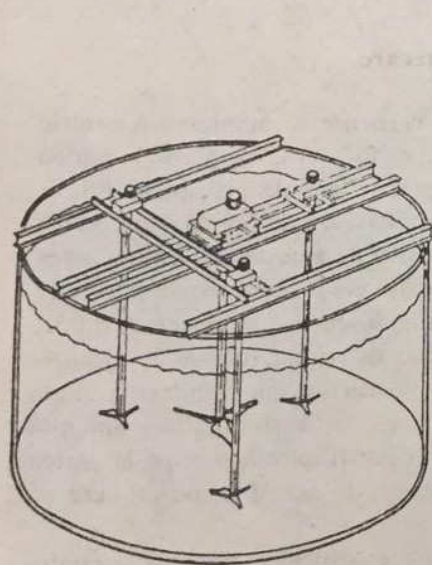


Fig. 4.16. Dispozitive de amestecare într-un rezervor de 525 m³ pentru menținerea în suspensie și omogenizarea gipsului în apă de mare fluorurată.

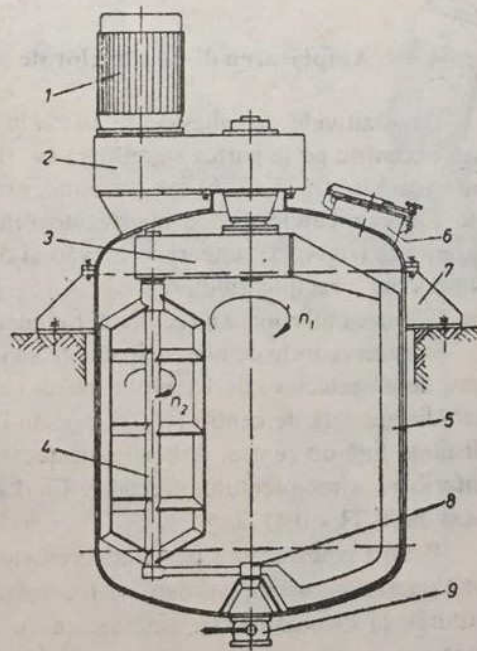


Fig. 4.17. Recipient cilindric cu dispozitiv de amestecare cu mișcare planetară:

1 - motor; 2 - reductor; 3 - transmisie; 4 - arbore cu amestecator tip ramă; 5 - ramă profilată; 6 - gură de vizitare; 7 - reazem lateral; 8 - lagăr de fund; 9 - robinet de golire

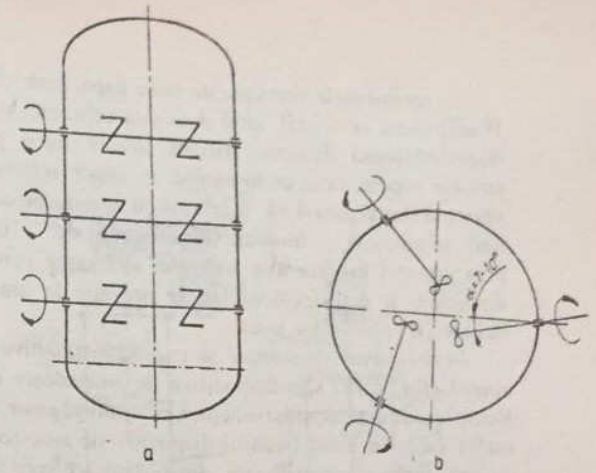


Fig. 4.18. Dispozitive de amestecare orizontale, în recipiente verticale.

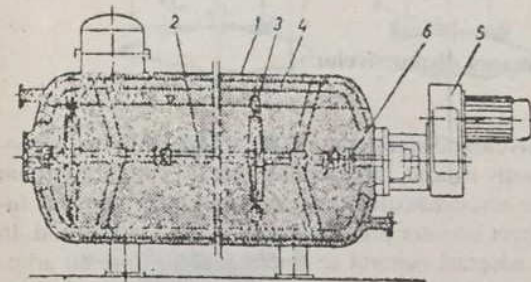


Fig. 4.19. Recipient orizontal cu dispozitiv de amestecare orizontal:

1 - recipient; 2 - arbore; 3 - amestecator MIG; 4 - ramă racloră; 5 - actiunare; 6 - cuplaj rigid

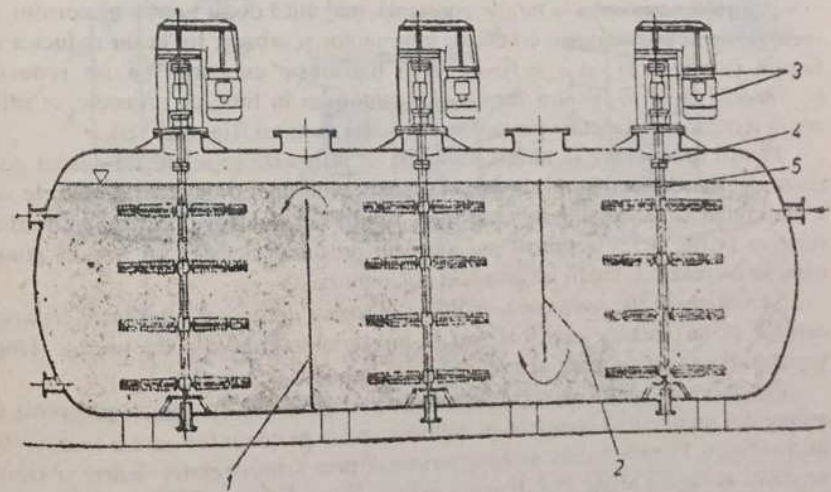


Fig. 4.20. Recipient orizontal cu dispozitive de amestecare verticale: 1 și 2 - diafragme; 3 - actiunare; 4 - cuplaj rigid; 5 - arbore cu amestecator MIG.

În recipientele verticale de mare capacitate, dispozitivele de amestecare pot fi amplasate orizontal, unul deasupra celuilalt. Varianta din figura 4.18. *a* este dezavantajoasă deoarece fiecare arbore trece prin peretele recipientului la ambele capete, ceea ce înseamnă un număr relativ mare de locuri de etanșat. În varianta din figura 4.18. *b* arborii cu amestecătoare elice sunt orizontali, coplanari, în consolă, și montați sub un unghi de 7-10° față de diametrul care trece prin punctul în care axa arborelui străpunge peretele recipientului. Asemenea dispunere a amestecătoarelor se prevede la amestecarea cantităților mari de lichide cu vâscozitate mică.

În recipiente orizontale se prevăd dispozitive de amestecare cu arbore orizontal (fig. 4.19) sau dispozitive de amestecare cu arbore vertical (fig. 4.20). Recipientul este compartimentat cu ajutorul unor diafragme transversale 1 și 2, astfel încât în jurul fiecărui dispozitiv de amestecare să se formeze un volum definit; între compartimente, dinspre intrare spre ieșire se stabilește o circulație continuă, cu debit definit de fluid.

4.1.5. Acționarea și rezemarea dispozitivelor de amestecare

Pentru acționarea dispozitivelor de amestecare se utilizează, de obicei, motoare electrice de curent alternativ trifazat, motoare electrice de curent continuu și motoare hidraulice. Arborii amestecătoarelor rapide, care funcționează la turația motorului, se cuplează direct la motor prin intermediul unui cuplaj rigid. În funcție de schema cinematică adoptată motorul se amplasează în linie cu arborii (fig. 4.2., *a*), paralel cu arborii (fig. 4.2., *b*) sau perpendicular pe direcția arborelui.

Pentru funcționarea la turație constantă, mai mică decât turația motorului, se recurge fie la o transmisie cu curele între motor și arbore, fie la un reductor de turație (v. fig. 4.21, *a, c, e, f*), fie la o transmisie cu curele și un reductor (v. fig. 4.21, *b* și *d*). Pentru amplasarea motorului în linie cu arborii se utilizează reductoare planetare pe care se flanșează motorul (fig. 4.21, *a*).

Pentru funcționare la turație variabilă se utilizează motoare de curent continuu cuplate direct pe arbore sau prin intermediul unei transmisii cu curele sau a unui reductor de turație. În acest scop, se utilizează uneori motoare hidraulice rotative (v. fig. 4.15) acționate cu ulei sub presiune; acestea se impun atunci când se lucrează cu medii inflamabile sau explozive.

Se utilizează, de asemenea, motoare electrice de curent alternativ trifazate cuplate la un variator mecanic sau la un variator hidraulic de turație. După variator, dacă este necesar, se prevede și un reductor de turație.

Rezemarea dispozitivelor de amestecare depinde de lungimea porțiunii de arbore din recipient. Variantele cu acționare pe la partea inferioară a recipientului (v. fig. 4.15 și 4.13, *b*) se caracterizează prin arbori relativ scurți și rigizi, rezemați în lagăre aflate în exteriorul recipientului. În cazul recipientelor înalte, chiar și la acest gen de acționare este necesară utilizarea unui lagăr limitator de săgeată în interiorul recipientului.

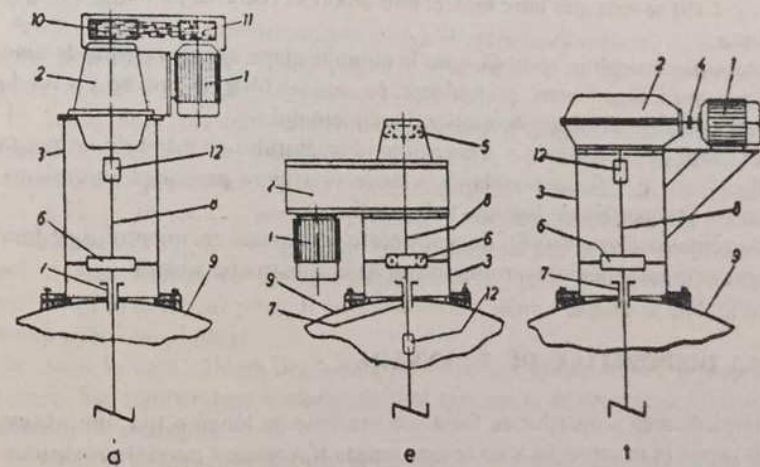
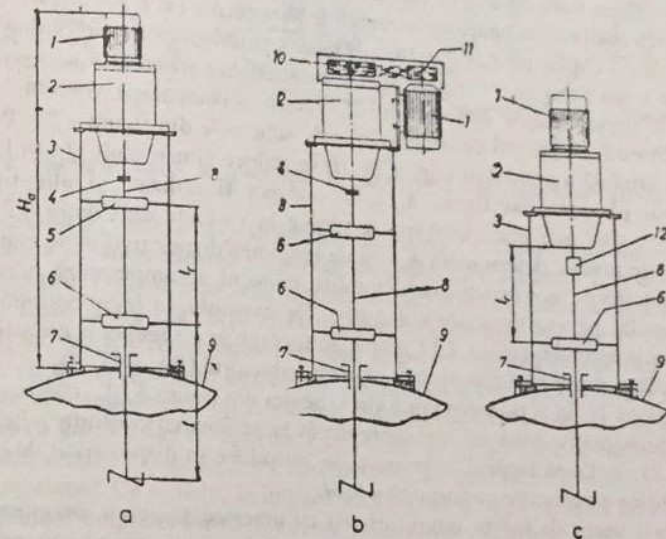


Fig. 4.21. Înălțimea sistemului de acționare-rezemare în funcție de varianta de acționare adoptată și de modul de rezemare al arborelui:

1 - motor; 2 - reductor de viteză; 3 - suport; 4 - cuplaj elastic; 5 și 6 - casete cu rulmenți; 7 - dispozitive de etanșare; 8 - arbore; 9 - capuc recipient; 10 și 11 - ruli de curea; 12 - cuplaj rigid

În cazul dispunerii acționării pe capacul recipientului, înălțimea ocupată de aceasta este maximă în varianta dispunerii motorului și reductorului în linie cu arborele, cuplat la acționare prin intermediul unui cuplaj elastic (v. fig. 4.21, *a*). Utilizarea unei transmisii prin curele și dispunerea laterală a motorului, permit micșorarea înălțimii ocupate de sistemul de amestecare (v. fig. 4.21, *b*). Dacă se recurge la un cuplaj rigid, 12, între arborele 8 și reductorul 2, se obține o nouă reducere a înălțimii ocupate de sistemul de amestecare (v. fig. 4.21, *c*). În acest caz arborele 8 se reazemă pe lagărul 6 și pe lagărele reductorului 2. Pentru o comparație corectă, distanța dintre lagăre 1 s-a păstrat constantă, în toate schemele din figura 4.21. Prin amplasarea laterală a acționării (fig. 4.21, *d*) se reduce și mai mult H_p . În locul reductorului planetar din figura 4.21, *a - d* pot fi utilizate și alte tipuri de reductoare. Cea mai mică înălțime se obține în varianta din figura 4.21, *e*, în care H_p este practic determinată de l , și de lungimea dispozitivului de etanșare.

În funcție de construcția reductorului, motorul se amplasează paralel sau perpendicular pe axa de ieșire a acestuia. De exemplu, în locul acționărilor cu reductor planetar din figura 4.21 *a* și *c*, se recurge la un reductor cu roți conice astfel încât motorul să fie în același plan cu reductorul (fig. 4.21, *f*).

Înălțimea H_p la acționarea conform schemei din figura 4.21, *a*, este, orientativ, de aproximativ două ori mai mare decât la acționarea conform schemei din figura 4.21, *e*. Dacă lagărul inferior, 6, se introduce în dispozitivul de etanșare se mai obține o reducere importantă a lui H_p .

Arborii verticali foarte lungi, arborii cu amestecătoare cu anvergură mare sau foarte grele, precum și arborii orizontali lungi, în recipiente orizontale (v. fig. 4.19) se reazemă între lagăre; unii arbori se reazemă pe mai mult de două reazeme.

Arborii verticali în consolă, care în anumite etape ale procesului de amestecare pot avea săgeți mari, periculoase, la capătul liber se prevăd cu un *lagăr limitator de săgeată* situat în interiorul recipientului.

În cazul cuplării rigide a arborelui amestecătorului cu arborele reductorului (v. fig. 4.21, *c - f*), semicuplajele trebuie să asigure preluarea sarcinii axiale transmise și suportată de lagărele reductorului.

Rezemarea dispozitivului de amestecare pe capacul recipientului se face, în general, prin intermediul unui suport (turlă) în construcție sudată.

4.2. DISPOZITIVE DE ETANȘARE

Împiedicarea scăpărilor de fluid sub presiune pe lângă o tijă, un arbore sau un alt organ în mișcare, în zona în care acesta traversează peretele recipientului, se face cu ajutorul *dispozitivelor de etanșare*.

Pentru etanșarea mișcării de rotație se utilizează dispozitive de etanșare (sau etanșări) cu umplutură moale, dispozitive de etanșare cu inele alunecătoare sau etanșări frontale și dispozitive de etanșare cu lichide magnetice.

Dispozitivele de etanșare se aleg în funcție de parametrii de regim (temperatură, presiune) ai mediului etanșat.

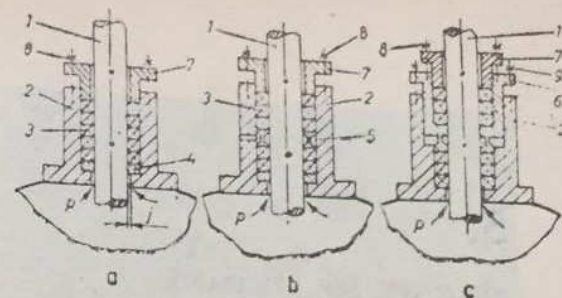


Fig. 4.22. Schița de principiu a dispozitivelor de etanșare cu umplutură moale:
1 - arbore, 2 - corp, 3 - inele de umplutură moale, 4 - inel rigid, 5 - inel pentru ungere, 6 - corp și piesă de presare, 7 - piesă de presare, 8 și 9 - prezoane

Spre exemplificare se prezintă dispozitivele de etanșare cu umplutură moale.

Principiul de lucru al unui dispozitiv de etanșare cu umplutură moale rezultă din figura 4.22. Împiedicarea scăpărilor de fluid între arborele 1 și corpul 2 se realizează prin introducerea între acestea a unui strat de material moale 3, format din inele secționare. Prin apăsarea acestora cu ajutorul piesei de presare (lunetă), se asigură etanșeitatea necesară împotriva scăpării fluidului sub presiune p , pe de-o parte între umplutura 3 și corpul 2 (etanșare statică) iar pe de altă parte între umplutura 3 și arborele 1. Atunci când este necesar (de exemplu, la etanșarea gazelor sau a vaporilor), în stratul de umplutură se intercalează un inel pentru ungere 5 (fig. 4.22, *b*), care permite accesul lubrifiantului ce impregnează umplutura. Ca urmare, se îmbunătățește etanșeitatea inelelor iar coeficientul de frecare umplutură-arbore devine relativ mic; energia mecanică disipată prin frecare scade, totodată scade și uzura arborelui, iar durabilitatea inelelor de etanșare crește.

Pentru a împiedica deformarea excesivă și extrudarea inelului de umplutură inferior prin jocul inelar j dintre corpul 2 și arborele 1, în partea inferioară se prevede un inel 4 dintr-un material rigid (metalic).

În cazul unor presiuni relativ mari, pentru a asigura o repartizare mai uniformă a presiunii de strângere în umplutură, ca și pentru a micșora forța de strângere a prezoanelor 8, se poate recurge la varianta constructivă din figura 4.22, *c*, în care o parte din umplutură este strânsă cu ajutorul prezoanelor 9 de către corpul 6, care are și un rol de piesă de presare, iar umplutura din corpul 6 este strânsă cu ajutorul prezoanelor 8, prin intermediul piesei de presare 7. Și în acest caz poate fi prevăzut un inel pentru ungere și un inel împotriva extrudării umpluturii.

În cazul în care căldura dezvoltată prin frecarea dintre arbore și umplutură este mare, sau temperatura mediului etanșat este mare, se recurge la răcirea dispozitivului de etanșare.

Materialul de etanșare trebuie să fie elastic, deformabil, să reziste la acțiunea mediului etanșat la parametrii de regim (temperatură, presiune), să aibă coeficient de frecare mic cu arborele, să poată fi îmbibat cu lubrifiant pe care să-l păstreze timp îndelungat și să nu fie abraziv față de materialul arborelui. Ca materiale de etanșare se utilizează: cânepă, bumbac, iută, azbest, păsă, cauciuc, teflon, fire de grafit etc.

5.

APARATE TIP COLOANĂ

5.1. APARATE TIP COLOANĂ ÎN INDUSTRIILE DE PROCES

În general, ideea de aparat tip coloană este asociată cu ideea de proces de transfer de substanță sau de masă (absorbție, desorbție, chemosorbție, adsorbție, rectificare, extracție).

Din punct de vedere constructiv aparatele tip coloană se caracterizează prin raport $\frac{H}{D_i}$ relativ mare (D_i – diametrul interior și H – înălțimea coloanei).

Marea majoritate a aparatelor tip coloană care se întâlnesc în prezent în industrie sunt utilizate pentru procese de transfer de substanță (proces care necesită un contact intim între două faze: gaz – lichid, lichid – lichid, solid – gaz). Spre a asigura timpul de contact necesar realizării procesului dorit, coloana trebuie să aibă o anumită înălțime.

Forma coloanei este, în general, cilindrică, cu același diametru sau cu diametre diferite pe înălțime (fig. 5.1). Coloana pentru procese de transfer de substanță (fig. 5.2) este prevăzută cu amenajări interioare (talere, corpuri de umplere, serpentine) și exterioare (scări, platforme, dispozitive de ridicare).

Amenajările sau echipamentele interioare (denumite în continuare „interioare”) favorizează transferul de substanță, iar amenajările exterioare permit realizarea operațiilor de întreținere curentă, montarea sau demontarea interioarelor coloanei. În funcție de complexitatea construcției interioarelor, de frecvența deservirii coloanei, platformele sunt prevăzute numai pe o parte din circumferință (v. fig. 5.2) sau pe toată circumferința coloanei. Alegerea formei constructive a platformelor influențează deservirea coloanei și greutatea totală a acesteia.

La coloanele cu porțiuni cilindrice de diametre diferite trecerea de la o virolă cilindrică la alta se face cu virole tronconice (v. fig. 5.1). Astfel, în figura 5.1, trecerea de la porțiunea cilindrică de diametru D_1 la porțiunea cilindrică de diametru D_2 se face prin intermediul virolei tronconice 5, iar de la diametrul D_2 la diametrul D_3 prin intermediul virolei tronconice 4. Coloana se reazemă pe fundația 6 prin intermediul virolei de rezemare 15, care poate fi cilindrică sau tronconică. Coloana este prevăzută cu racorduri (10 ... 14) pentru introducerea sau scoaterea substanțelor (lichide sau gazoase), care se prelucrează. Coloana, în general, se izolează termic la exterior (16). Pentru deservirea coloanei, aceasta se prevede cu platforme cu balustrade (7, 8, 9) și cu scări.

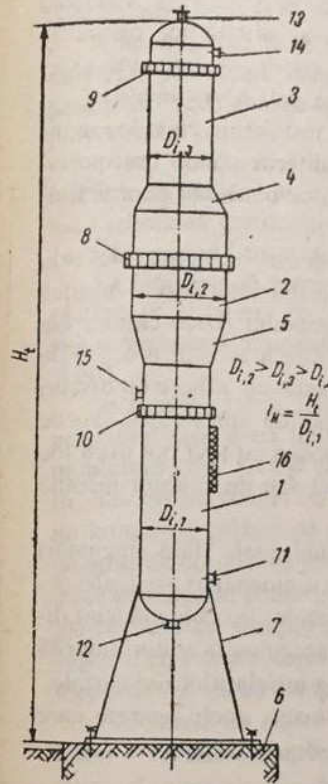


Fig. 5.1. Schița de principiu a unui aparat de tip coloană:

- 1 – partea inferioară a coloanei;
- 2 – partea intermediară a coloanei;
- 3 – partea superioară a coloanei;
- 4, 5 – zone tronconice; 6 – fundație;
- 7, 8, 9 – platforme cu balustrade;
- 10, 11, 12, 13, 14 – racorduri;
- 15 – fustă tronconică (virolă de rezemare); 16 – izolație.



Fig. 5.2. Vedere a unui grup de aparate tip coloană într-o instalație de olefine.

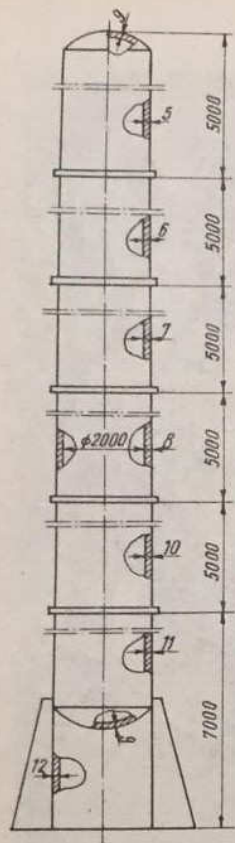


Fig. 5.3. Coloană realizată din tronsoane cilindrice cu grosimi diferite.

Figura 5.2. reprezintă o vedere a unui grup de coloane dintr-o fabrică de olefine. Coloana 1 este prevăzută cu platformele circulare 2 și scările 3 între platforme.

Grosimea peretelui coloanei poate fi aceeași pe toată înălțimea sau poate varia (în trepte), pe înălțime, având grosimea maximă la baza coloanei (fig. 5.3). Valoarea grosimii depinde de intensitatea solicitărilor cărora le este supusă coloana: presiune interioară, presiune exterioară, greutate, sarcină seismică, solicitări climatice.

Din figura 5.2 rezultă că în instalațiile cu coloane intervin conducte de dimensiuni diferite pentru transportul fluidelor care sunt introduse în coloană sau pentru fluidele care ies din coloană.

Aparatele tip coloană se deosebesc între ele prin forma constructivă a amenajărilor interioare. Acestea din urmă depind de natura procesului fizico-chimic din aparat și de procedeul de realizare a acestui proces. De exemplu, într-o coloană prevăzută cu arbore cu discuri în rotație se pot efectua procese de amestecare sau de transfer de substanță. Într-o coloană cu țevi pot avea loc procese de transfer de substanță sau de căldură însoțite sau nu de reacții chimice etc.

Unele aparate tip coloană sunt goale (fără amenajări interioare) sau sunt prevăzute cu amenajări speciale neconvenționale. Interioarele aparatelor tip coloană sunt diverse; această diversitate se va accentua în viitor datorită tendinței extinderii pe verticală a instalațiilor industriale.

Se consideră aparate tip coloană, acele aparate care îndeplinesc una din următoarele două condiții:

$$\frac{H_i}{D_i} > 5 \text{ dacă } H_i \leq 10 \text{ m,}$$

sau, pentru orice raport $\frac{H_i}{D_i}$, dacă $H_i > 10 \text{ m}$.

unde H_i este înălțimea totală a aparatului, D_i - diametrul interior al aparatului.

5.2. ROLUL APARATELOR TIP COLOANĂ

Dintre aparatele tip coloană continuă să aibă cea mai mare răspândire aparatele pentru transfer de substanță sau de masă.

Recent au fost realizate coloane cu talere cu diametre de 12,2 m (coloană de distilare) și de 15 m (coloană de absorbție).

În coloanele pentru procese de transfer de substanță, lichidul curge de sus în jos, sub acțiunea gravitației, iar gazul (sau vaporii) de jos în sus, sub influența presiunii. Interioarele coloanelor au drept scop crearea și mărirea la maximum a suprafeței de contact între faze. În acest scop:

- se introduc în coloană corpuri de umplere, peste care curge lichidul supus prelucrării (coloane cu umplutură) sau se pulverizează lichidul;

- se compartimentează coloana pe înălțime cu ajutorul unor talere, pe care are loc barbotarea gazului prin lichid (coloane cu talere sau cu barbotare).

Se întâlnesc și coloane mixte, cu umplutură și cu talere: de exemplu în industria sodei caustice, pentru recuperarea CO_2 și NH_3 .

În figurile 5.4 și 5.5 sunt reprezentate principal cele două tipuri de coloane: cu umplutură (fig. 5.4) și cu talere (fig. 5.5). În interiorul coloanei cu umplutură se află un număr de grătare pe care se așază câte un strat de corpuri de umplere. Lichidul L , trece prin aceste straturi, curgând de sus în jos (el iese cu compoziția L_i). Gazul sau vaporii, G , trec de jos în sus prin stratul de umplutură și ies cu compoziția G_i .

Coloanele cu talere sunt prevăzute în interior cu talere situate la o anumită distanță, H , între ele (fig. 5.5). Lichidul trece de sus în jos de la un taler la altul, iar gazul de jos în sus. Pe taler, prin difuziune, se schimbă compoziția lichidului și a gazului.

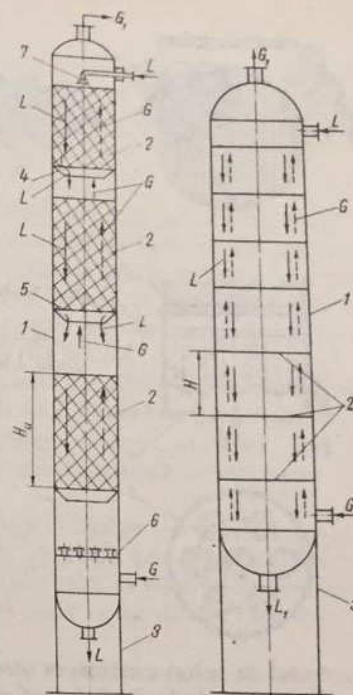


Fig. 5.4. Schema de principiu a unei coloane cu umplutură:
1 - corpul coloanei; 2 - strat de corpuri de umplutură; 3 - virolă de rezemare; 4 - dispozitiv de redistribuire a lichidului; 5 - grătar; 6 - taler pentru distribuția uniformă a gazului; 7 - dispozitiv de stopire

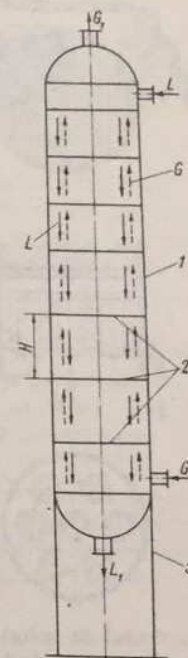


Fig. 5.5. Schema de principiu a unei coloane cu talere:
1 - corp coloană; 2 - talere; 3 - virolă de rezemare

5.3. COLOANE CU UMPLUTURĂ

La aceste coloane transferul de substanță are loc „pe suprafața” peliculei de lichid formată pe corpurile de umplutură, între lichid și vapori (sau gaze).

În coloane cu diametrul interior $D_i > 0,8 \text{ m}$, pe anumite porțiuni ale coloanei, gazele (vaporii) și lichidul pot circula pe secțiuni diferite, fără a veni în contact, ceea ce micșorează eficacitatea separării. Deoarece la peretele coloanei

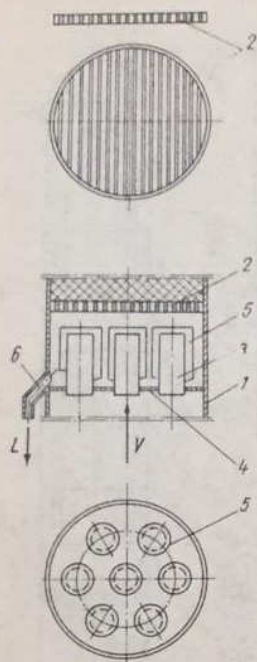


Fig. 5.6. Detaliu al unei coloane cu umplutură din zona evacuării lichidului:

1 - corpul coloanei, 2 - grătar pentru susținerea umpluturii, 4, 5 - taler cu clopote și racorduri, 3, pentru uniformizarea debitului de vapori (gaz) pe secțiunea coloanei, 6 - racordul pentru evacuarea lichidului.

volumul de goluri este maxim (rezistența hidraulică este minimă) lichidul are tendința să se deplaseze în lungul peretelui; zona centrală va fi în acest caz insuficient udată. Pentru a obține totuși o eficacitate a separării corespunzătoare, este necesară organizarea rațională a regimului de lucru al coloanei. În acest scop, pe înălțimea umpluturii sau între două straturi distincte de umplutură 2 (v. fig. 5.4) se prevăd dispozitive (talere) de redistribuie, 4, care aduc lichidul spre zona centrală a umpluturii.

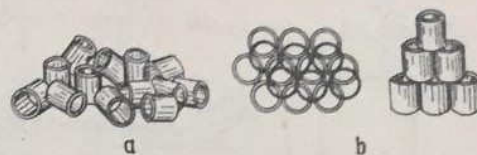
Umplutura se pune pe toată înălțimea coloanei sau această înălțime se fracționează. Această din urmă variantă constructivă se adoptă atunci când datorită greutatei umpluturii, dimensiunilor grătarelor, ar urma să fie prea mari, sau când construcția ar fi puternic solicitată în zona asamblării grătarului cu corpul coloanei.

La coloanele de absorbție, în partea inferioară a coloanei, se prevăd dispozitive pentru uniformizarea circulației gazelor, 6 (v. fig. 5.4). Sub grătarul stratului de umplutură, în zona de evacuare a lichidului, se prevede un taler cu clopote care are rolul de a egaliza viteza gazelor pe secțiunea coloanei. Un detaliu al acestui taler rezultă din figura 5.6.

5.3.1. Tipuri de corpuri de umplutură

Corpurile de umplutură pot avea formă regulată sau neregulată. Pentru umplutură se poate utiliza orice material rezistent (chimic și mecanic), în condițiile regimului de lucru din coloană.

Fig. 5.7. Corpuri de umplutură tip Raschig așezate:
a - în vrac; b - ordonat.



Așezarea corpurilor de umplutură în coloană se poate face ordonat (după o anumită rețea) sau în vrac (fig. 5.7). De exemplu, la turnurile de absorbție pentru SO_2 cu diametre mari ($D_1 = 5 \dots 6$ m) primele straturi de inele de umplutură se așază ordonat, iar celelalte se așază în vrac. În general, corpurile de umplere cu diametre mai mari de 50 mm se așază ordonat (fig. 5.7, b), pe când cele cu diametrul sub 50 mm se așază în vrac (fig. 5.7, a).

Materialele de construcție pentru corpurile de umplutură sunt materiale ceramice, materiale plastice (policlorură de vinil, polistiren, polietilenă, poli-propilenă), lemn, metale (oțel, aluminiu, cupru, monel) cuarț, coes, fibre de sticlă, grafit etc. Datorită rezistenței la coroziune, materialele ceramice sunt cele mai răspândite.

Corpurile de umplere metalice se obțin prin turnare sub presiune sau din platbandă, iar cele din material plastic se realizează prin injectare. Pentru a obține caracteristici mecanice mai bune se utilizează ca material de umplutură (în receptura materialului plastic), fibre de sticlă în loc de talc, sau fibre de azbest.

Corpurile de umplere de formă neregulată (bucăți de coes, cuarț, andezit sau șpan etc.) au, în general, dimensiuni de 25 ... 100 mm. Ele au avantajul de a fi ieftine, în schimb au dezavantajul unui volum liber mic și determină o rezistență hidraulică însemnată. Cuarțul are densitate relativ mare. Coesul se fărâmițează ușor, ceea ce duce la mărirea rezistenței hidraulice a umpluturii. Eficacitatea umpluturii de formă neregulată este mică. Acest tip de umplutură se utilizează rar.

Au fost elaborate o mare varietate de corpuri de umplere de formă regulată (fig. 5.8). Nu toate admit o așezare ordonată. În afara acestora se mai utilizează împletituri din șpan sau fire metalice, rulouri din bandă de sită metalică (cu înălțimea mai mică decât diametrul), rozete, umpluturi din site metalice profilate etc.

Umplutura metalică se utilizează în cazurile în care este posibilă depunerea de sediment și este necesară curățirea repetată a coloanei (în special în cazul umpluturilor cu configurație complicată), în coloane care funcționează sub vacuum. Umplutura ceramică (inclusiv cea din porțelan) se utilizează când nu este necesară curățirea frecventă a coloanei și la prelucrarea mediilor corosive.

Grafitul, sticla și materialele plastice se utilizează la prelucrarea produselor agresive. Materialele plastice se pot utiliza la temperaturi medii (policlorura de vinil la $T \leq 60^\circ C$; polietilena la $T \leq 80^\circ C$; polipropilena la $T \leq 100^\circ C$; teflonul la $T \leq 200^\circ C$).

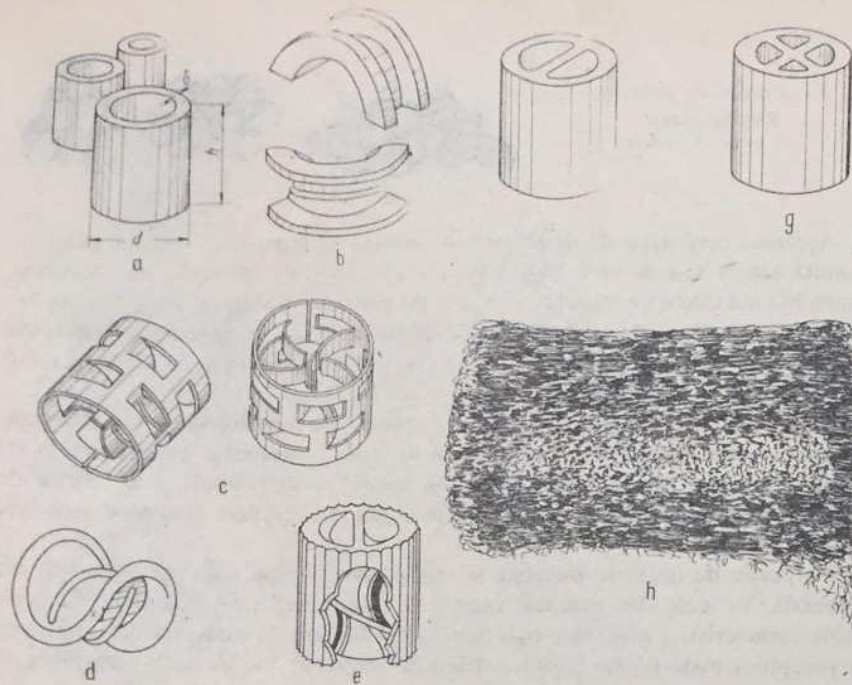


Fig. 5.8. Corpuri de umplere:

a - inele Raschig, b - șei Intalox, c - inele Pall, d - șei Berl, e - inele strate longitudinale și cu spirală interioară, f - inele Lessing, g - inele cu pereți despărțitori, h - demistere

5.3.2. Diametrul coloanei cu umplură

Diametrul interior al coloanei cu umplură se determină din relația debitului volumic:

$$G_v = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot w_0 \quad (5.1)$$

în care G_v este debitul volumic de vapori (gaz); w_0 - este viteza gazului sau vaporilor prin secțiunea liberă a coloanei (cuprinsă între două straturi de umplură); D_i - diametrul interior al coloanei. Din relația (5.1) se obține:

$$D_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{G_v}{w_0}} \quad (5.2)$$

5.3.3. Înălțimea stratului de umplură

Pe înălțime, coloana cu umplură se separă într-un număr de straturi. La alegerea înălțimii H_n (v. fig. 5.4) a unui strat de umplură se va ține seama că, dacă înălțimea stratului de umplură este prea mică, distribuția gazului pe secțiune este neuniformă. Se recomandă ca:

$$H_n = k_n D_i \quad (5.3)$$

în care k_n depinde de diametrul coloanei.

Fiecare tronson cu umplură al coloanei se recomandă să nu depășească lungimea de 6 m.

5.3.4. Încărcarea și descărcarea umplurii

Buna funcționare a coloanelor cu umplură depinde de repartizarea uniformă a lichidului în stratul de umplură. Neirigarea întregii umplurii, formarea de canale în interiorul stratului de umplură, curgerea preferențială a lichidului în apropierea pereților, sunt cauzele principale care micșorează producția coloanei, ca urmare a distribuției defectuoase a fazei lichide.

Prin aranjarea ordonată a umplurii se poate evita scurgerea pe pereți a lichidului. Această operație se poate aplica numai la coloanele de diametru mare și este o operație foarte greoaie, de durată și costisitoare.

Umplutura turnată în coloană se așază la întâmplare (în vrac), ceea ce are un efect de uniformizare a distribuției lichidului în secțiunea coloanei. Valoarea acestui efect depinde de forma umplurii și de materialul din care este realizată aceasta, precum și de modul în care se realizează încărcarea.

La încărcarea umplurii, conform figurii 5.9, a (întâi stratul conic central 1, apoi straturile 3 până la nivelare) densitatea umplurii la limita de separare între straturile (triunghiulare în secțiune) 1 și 3 este mai mică, ceea ce permite scurgerea lichidului pe suprafețele de separare conice spre perețele coloanei. Acest mod de încărcare nu este avantajos. Încărcarea coloanei ca în figura 5.9, b (întâi straturile 2 de la perete, apoi stratul central 3 până la nivelare), ușurează scurgerea lichidului de la perete spre centru, pe suprafața de separare dintre straturile 2 și 3, unde densitatea umplurii este mai mică decât în restul stratului.

Încărcarea conform figurii 5.9, c permite scurgerea lichidului de la perete pe suprafața de separare dintre straturile 2 și 3, și de la centru pe suprafețele de separare dintre straturile 1 și 3. Încărcarea (v. fig. 5.9, c) se face în ordinea: straturile 2 de la perete, stratul conic central 1 și apoi straturile laterale 3, până la nivelare. La stropire uniformă cu lichid, rezultate bune dau încărcarea conform figurii 5.9, b și îndeosebi încărcarea conform figurii 5.9, c.

Încărcarea inelelor ceramice se face adesea după umplerea prealabilă a coloanei cu apă, spre a evita distrugerea inelelor, ceea ce ar avea ca efect înrăutățirea condițiilor de lucru ale coloanei, mărirea rezistenței hidraulice și micșorarea eficienței coloanei.

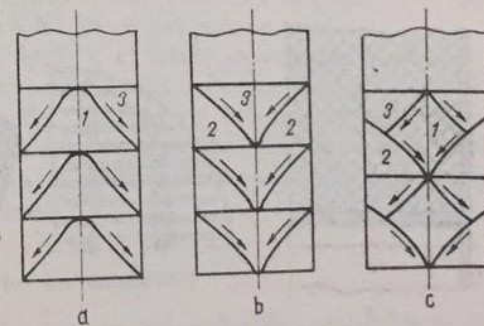


Fig. 5.9. Moduri de încărcare a coloanei cu corpuri de umplere.

5.3.5. Suporturi pentru umplură

Stratul de umplură, în coloană este susținut de suporturi plane (fig. 5.10, *a*) sau ondulate (fig. 5.10, *c*). Secțiunea liberă a suportului pentru corpurile de umplere trebuie să fie mai mare, cel puțin egală cu secțiunea liberă a umpluturii. Suportul sub formă de placă perforată nu îndeplinește aceste condiții, motiv pentru care nu mai este utilizat în construcțiile moderne.

În prezent se mai utilizează încă grătare și suporturi cu suprafață plană executate din platbandă, distanțate cu bușe (din țevă) prin care trec tiranții de solidarizare a platbandelor (fig. 5.10, *b*), sau din platbande sudate în interiorul unui inel metalic, soluție constructivă acceptată în special pentru aparate cu diametru mic. Distanța dintre barele grătarelor (secțiunea liberă), se ia de minimum $(0,6 \dots 0,8) d$, în care d este dimensiunea minimă a corpului de umplere. În coloanele executate din grafit, căptușite cu material ceramic sau emailate, grătarele plane se execută din același material cu perețele sau cu căptușeala.

La coloanele ale căror grătare se construiesc din rocă sau din material ceramic și care au distanță relativ mare între elementele grătarului (mai mare decât d), deasupra grătarului se așază fie câteva straturi de cărămidă (de exemplu, cărămidă antiacidă), fie câteva straturi de corpuri de umplere cu diametru mai mare (de exemplu 100×100 sau 150×150) decât cele prevăzute pentru umplură. Aceste prime straturi se așază ordonat; deasupra lor se toarnă apoi corpurile de umplere de diametru mai mic.

Suporturile (pentru umpluturi) cu suprafața plană au eficiență mai mică decât cele ondulate.

La coloanele cu diametru mare, în vederea unei montări ușoare, suporturile pentru umplură se execută din 2 ... 7 segmente separate. Acestea se pot apoi monta pe grinzi executate din cornier (cu profil I; U; L) sau din alte laminate.

Suporturile ondulate se realizează din oțel, aluminiu, material ceramic (porțelan, material refractar), material plastic armat cu fibre de sticlă, polielocură de vinil sau polipropilenă.

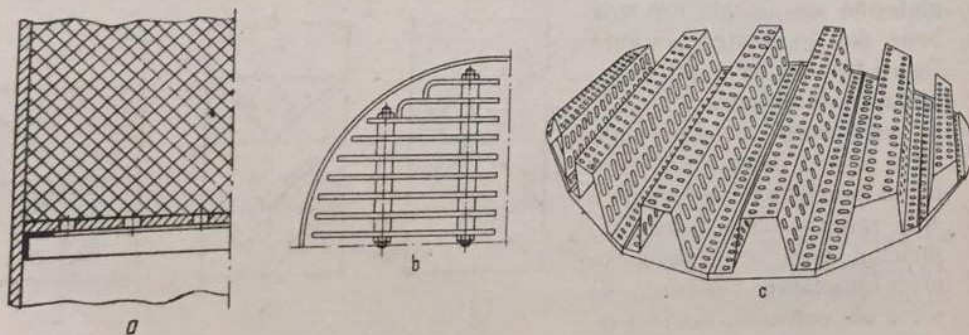


Fig. 5.10. Suporturi pentru susținerea umpluturii:

a - grătar din placă perforată; *b* - grătar demontabil din platbande; *c* - grătar ondulat din tablă perforată

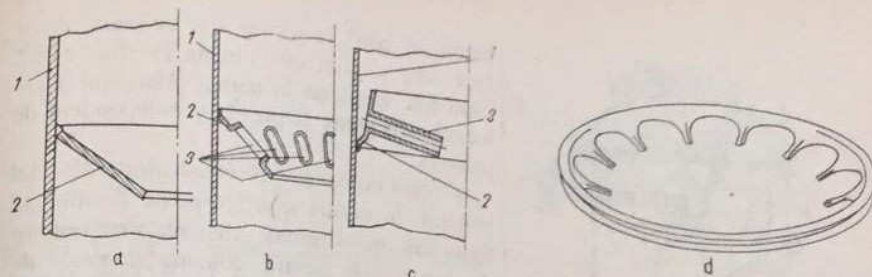


Fig. 5.11. Dispozitive pentru colectarea și redistribuirea lichidului.

5.3.6. Dispozitive pentru redistribuirea lichidului

Spre a asigura contactul optim între fazele aflate în coloană, este necesară, între altele, evitarea formării de canale verticale prin care să aibă loc curgerea preferențială a fluidelor. Aceasta se obține prin repartizarea uniformă a fazei lichide pe suprafața umpluturii și prin fracționarea umpluturii în straturi de înălțime mai mică, între care se intercalează dispozitive pentru colectarea și redistribuirea lichidului (fig. 5.11).

Dispozitivele de colectare și redistribuire a lichidului trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să nu îngusteze simțitor secțiunea aparatului (ceea ce ar conduce la mărirea bruscă a vitezei gazului sau a vaporilor și deci la perturbarea regimului de lucru al coloanei), să asigure redistribuirea uniformă a lichidului și să nu fie complicate din punct de vedere constructiv. Utilizarea unor confunzoare simple (fig. 5.11, *a*) este dezavantajoasă din punct de vedere funcțional.

Ca dispozitive de colectare și redistribuire se utilizează conuri cu găuri ștanțate (fig. 5.11, *b*), „buzunare” inelare (fig. 5.11, *c*) și talere speciale (fig. 5.11, *d*).

La conurile cu găurile ștanțate (v. fig. 5.11, *b*), lichidul care se scurge pe pereții coloanei 1, este dirijat către centrul acesteia. În dreptul conului 2, viteza gazului (vaporilor), se mărește, fără a deranja prea mult funcționarea coloanei datorită prezenței găurilor, 3; acestea împiedică mărirea accentuată a vitezei gazului și nu permit scurgerea lichidului decât spre partea centrală.

„Buzunarele” inelare 2, (v. fig. 5.11, *c*) relativ înguste, sunt prevăzute cu 3 ... 6 țevi, 3, prin care lichidul colectat este adus spre centrul coloanei 1.

Rozetele redistribuitoare (v. fig. 5.11, *d*) pot fi amplasate în interiorul stratului de umplură, deasupra stratului de umplură sau deasupra unui distribuitor obișnuit. Ele se prind etanș de suporturi inelare prevăzute pe interiorul coloanei sau se instalează între flanșe.

5.3.7. Construcția coloanelor cu umplură

Înălțimea coloanei ca și forma constructivă depind de concepția generală adoptată. Astfel, fierbătorul (6 în figura 5.12.) care prin evaporarea lichidului transmite vaporilor acestuia energia necesară învingerii rezistențelor opuse pe

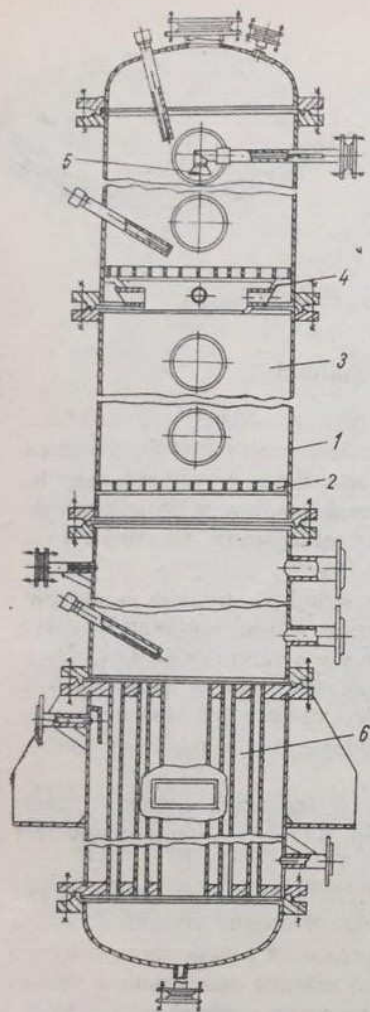


Fig. 5.12. Coloană de umplură, cu fierbătorul încorporat în partea inferioară:

1 - corp coloană; 2 - grătar; 3 - umplură; 4 - dispozitiv de redistribuire lichid; 5 - dispozitiv de stropire; 6 - fierbător

5.4.1. Circulația lichidului

Coloanele cu talere se subîmpart în două categorii: coloane cu deversoare (interioare sau exterioare) și coloane fără deversoare. La coloanele cu deversoare, scurgerea lichidului de la un taler la celălalt se face prin deversor (fig.

parcursul până la ieșirea din coloană, poate face corp comun cu coloana (v. fig. 5.12), când este amplasat în partea inferioară a coloanei, sau poate fi prevăzut independent de coloană.

Corpul coloanei 1 se construiește din oțel laminat. În cazuri speciale poate fi utilizată fonta sau oțelul turnat. Alegerea materialului de construcție pentru coloană depinde de agresivitatea mediului prelucrat și de regimul de lucru. În unele cazuri se recurge la cărămizi antiacide, cu care se înzidește la interior corpul coloanei construit din oțel carbon. Așa se procedează, de exemplu, la turnurile de absorbție a SO_2 . Diametrul acestor coloane ajunge la 6 000 ... 8 000 mm.

Au fost realizate coloane emailate la suprafața interioară. În acest caz interioarele (grătare, corpuri de umplere etc.) se realizează, de asemenea, emailate. Pentru unele condiții de coroziune au fost realizate coloane din elemente modulare, din grafit.

5.4. COLOANE CU TALERE

Coloanele cu talere sunt mult utilizate în industriile de proces. Transferul de substanță (difuzia etc.) la aceste coloane are loc în zona de spumare ce se obține ca urmare a barbotării vaporilor sau gazului prin lichidul de pe taler. Dispersarea fazelor pe taler este uniformă, iar flexibilitatea în funcționarea coloanei este mare.

Față de coloanele de umplură, coloanele cu talere au următoarele dezavantaje: căderi de presiune mai mari, construcție mai complicată, cost mai mare și întreținere mai pretențioasă.

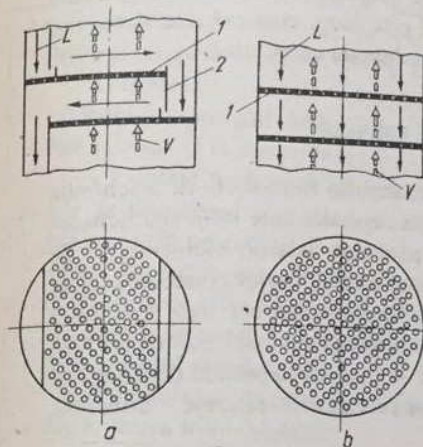


Fig. 5.13. Curgerea fazelor la o coloană cu talere și:

a - cu deversor, b - fără deversor, 1 - sită, 2 - deversor.

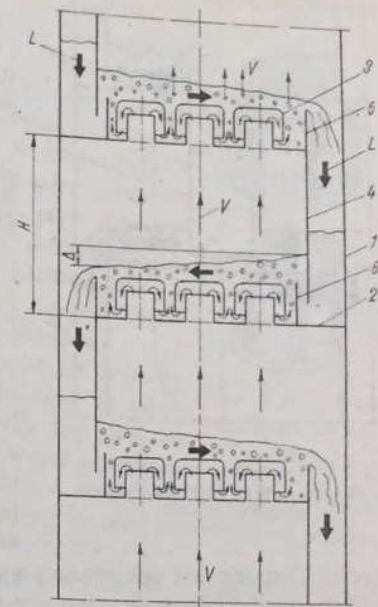


Fig. 5.14. Circulația fazelor (L - lichid și V - vapori) într-o coloană cu sensuri contrare de curgere a curenților de lichid pe două talere succesive:

1 - coloană, 2 - taler, 3 - clopot, 4 - deversor.

5.13, a), pe când la coloanele fără deversoare scurgerea lichidului se face prin aceleași deschideri prin care circulă vaporii (fig. 5.13, b).

Coloanele cu deversoare se deosebesc între ele după forma constructivă a talerului. Aceasta poate fi: taler cu clopote, taler cu supape, taler cu elemente în formă de „s” sau uniflux, taler sită, taler cu plăci etc.

Coloanele fără deversoare se construiesc cu talere plate cu perforații circulare sau longitudinale, cu talere ondulate perforate, sau se construiesc asemănător grătarelor, prin asamblare din benzi, bare sau țevi.

La coloana cu deversor, lichidul curge de pe talerul superior prin tubul deversor, parcurge suprafața talerului (fig. 5.14), trece peste un prag deversor care fixează nivelul lichidului pe taler și curge pe tubul deversor 4 pe talerul inferior. Deversorul se afundă în lichidul de pe talerul inferior formând o închidere hidraulică; aceasta împiedică trecerea vaporilor (gazelor) de la un taler inferior la altul superior prin tubul deversor.

Circulația lichidului pe taler influențează eficacitatea acestuia. La coloanele cu diametrul mare și cu debite mari de lichid, stratul de lichid care curge pe taler nu este orizontal ci, din cauza curgerii, are o grosime mai mare la intrarea pe taler și mai mică în dreptul pragului de deversare (v. fig. 5.14). Rezultatul este că vaporii trec cu debit mai mare prin zona unde rezistența hidraulică este

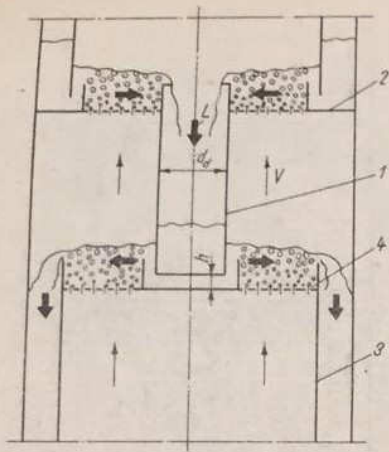


Fig. 5.15. Coloană cu deversor central, 1. pe un taler, 2. și cu deversoare laterale, 3. pe talerul următor, 4.

mai mică. Pentru a micșora denivelarea Δ (v. fig. 5.14), se utilizează un deversor central pe un taler și două deversoare laterale pe talerul următor (fig. 5.15).

La coloanele cu talere cu un singur curent de lichid, deoarece drumul parcurs de lichid este lung, concentrația lichidului variază în direcția curentului.

5.4.2. Talerele

Rolul talerului fiind acela de a schimba compoziția vaporilor care intră și a lichidului care părăsește talerul, elementele sale componente trebuie astfel concepute încât să asigure un contact cât mai bun între faze. Prin dispersarea fazei lichide în faza de vapori, se mărește suprafața de contact a

fazelor. Dispozitivele de contactare a lichidelor cu vaporii – talerele – urmăresc realizarea acestei dispersări cât mai avansate.

5.4.2.1. *Talerele cu clopote.* Talerele cu clopote au fost până nu de mult talerele cel mai frecvent utilizate, datorită eficacității și flexibilității lor în funcționare. Ele au, în general, o construcție asemănătoare celei din figura 5.16.

Clopotele se termină uneori cu dinți triunghiulari sau dreptunghiulari, alteleori cu fante sau ferestre dreptunghiulare care divizează curentul de vapori. Unele tipuri de clopote au deschideri aproape tangențiale. Clopotele cu margini netede și cele cu dinți funcționează practic la fel. Existența dinților este mai rațională deoarece aceștia micșorează pericolul ieșirii unilaterale, preferențiale, a vaporilor de sub clopot, în cazul în care clopotul este înclinat față de verticală. Vârful dinților este rotunjit spre a nu cauza traumatisme la manipulare și la montaj.

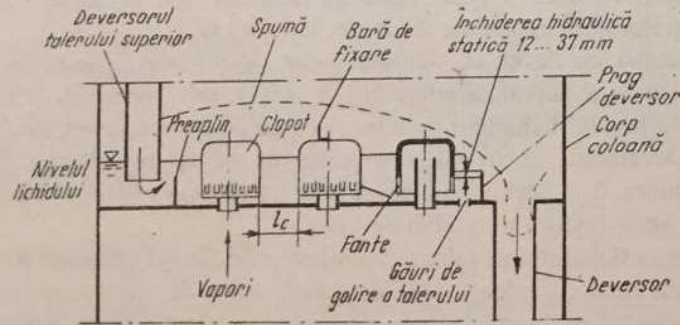


Fig. 5.16. Schița de principiu a unui taler cu clopote.

Talerele se execută, în general, din același material cu cel al corpului coloanei. Clopotele se execută fie din același material cu talerul (oțel, fontă, cupru etc.), fie din materiale ceramice sau din materiale plastice (polipropilenă, poliamidă, polietilenă etc.). Alegerea materialului pentru construcția talerului depinde de presiunea și de temperatura de lucru a coloanei. În funcție de natura substanțelor prelucrate se întâlnesc presiuni de la vid înaintat până la peste 4 MPa și temperaturi de la -250°C la $+250^{\circ}\text{C}$ și mai mult.

Utilizarea clopotelor din materiale plastice duce la economii importante determinând micșorarea costului coloanei, precum și la micșorarea masei totale a coloanei.

Clopotele reprezintă elementele principale ale talerului. Ele se deosebesc prin dimensiuni, formă, modul de asamblare și prin procedeul de fabricare. Clopotele din oțel și din cupru se matrițează, iar cele din fontă se toarnă. Prinderea clopotelor pe taler poate fi demontabilă sau nedemontabilă. Racordurile deasupra cărora se montează clopotele se assemblează de taler nedemontabil prin sudare sau prin mandrinare.

Clopotele se așază în șiruri perpendiculare pe direcția curentului de lichid, după o rețea triunghiulară.

Fixarea nedemontabilă se realizează prin intermediul sudării, lipirii sau al nituirii. Clopotele nedemontabile sunt avantajoase prin simplitate și cost mic, dar dezavantajoase datorită imposibilității reglării poziției lor față de taler, cât și înlocuirii greoaie ca urmare a corodării.

Din figura 5.17 rezultă piesele componente ale unui clopot demontabil: 1 – clopot; 2 – racord; 3 – șurub; 4 – piuliță și 5 – contrapiuliță.

Îmbinările demontabile permit, în afară de scoaterea și înlocuirea clopotelor uzate, reglarea lor pe înălțime.

Reglarea poziției clopotului, pe înălțime, la construcția din figura 5.16 se face individual, pentru fiecare clopot.

5.4.2.2. *Talere cu supape.* Talerele cu supape se aseamănă cu cele cu clopote. Ceea ce le deosebesc este construcția părții care favorizează contactul lichid-vapori (gaz). În cazul pe care-l analizăm, dispersarea vaporilor în masa de lichid de pe un taler se face prin intermediul supapelor. Supapele, de formă circulară sau dreptunghiulară, acoperă orificiile talerului; sub efectul presiunii vaporilor supapa se ridică și permite trecerea vaporilor care barbotează prin lichidul de pe taler. Deschiderea supapei se reglează automat (între limite stabilite constructiv), în funcție de interdependența dintre greutatea supapei și debitul de vapori.

Dintre diferitele variante constructive dezvoltate de-a lungul timpului s-au impus cele care au o construcție relativ simplă, prevăzute cu piciorușe (fig. 5.18). Aceste supape sunt prevăzute cu reazeme, 4, care în poziția închisă a supapei lasă spațiul liber de 1 ... 1.5 mm între supapă și taler, pentru trecerea vaporilor.



Fig. 5.17. Piesele componente ale unui clopot.

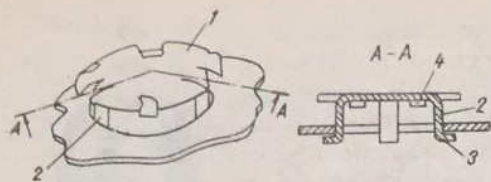
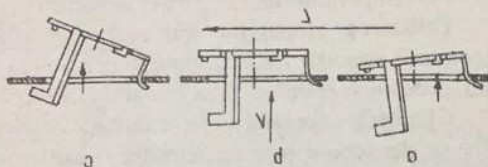


Fig. 5.18. Supapă în poziție deschisă.
1 - disc; 2 - prierușe; 3 - împinator; 4 - rezeam

Fig. 5.19. Supapă cu prierușe inegale.
Poziția supapei la debit de vaporii:
a - mic; b - mediu; c - mare



Se construiesc și supape cu prierușe inegale (fig. 5.19). Aceste construcții permit funcționarea supapei circulare în poziții mai mult sau mai puțin înclinate față de suprafața talerului, în funcție de debitul de vaporii.

Experimente efectuate cu supape cu circumferința zimțată au arătat că prezența zimților asigură îmbunătățirea contactului vaporii (gaz) - lichid, datorită măririi lungimii circumferinței de contact dintre cele două faze. Talerele cu supape circulare au dat rezultate mai bune decât cele cu supape dreptunghiulare. Diametrul discului supapei este, în general, cu 10 mm mai mare decât diametrul orificiului. Cursa supapei, h_s , în raport cu talerul poate atinge 8 ... 15 mm.

Supapele se realizează prin matrițare din tablă de oțel, cupru, aluminiu sau din oțel anticoroziv cu grosimea de 1 ... 3 mm. Masa unei supape poate atinge 35 ... 140 g. Masa supapei este importantă la punerea în funcțiune a coloanei. Dacă masa supapei este prea mică, pot apărea pulsații ale supapei.

Șirurile de supape se așază perpendicular la direcția curgerii lichidului. Pasul între două orificii se ia aproximativ de 1,74 ... 4 ori diametrul orificiului. De exemplu, pentru supape cu diametrul de 50 mm se realizează talere cu pasul dintre supape $t = 70; 80$ și 90 mm.

La coloanele cu diametru mare, greutatea supapelor este bine să se adă în sensul curgerii lichidului.

5.4.2.3. *Talere sită*. Talerele sită se construiesc în două variante: cu deversor și fără deversor. Talerele sită cu deversor funcționează, în principiu, ca și talerele analizate anterior. Viteza gazului sau vaporilor prin orificiile talerului determină o presiune dinamică care echilibrează coloana de lichid de pe taler. Circulația lichidului de la un taler la altul se face prin deversor (v. fig. 5.13). Deversoarele sunt, în general, interioare coloanei. Uneori se folosesc și deversoare exterioare, de exemplu în cazul prelucrării suspensiilor. În general, deversoarele exterioare se întâlnesc la coloanele din fontă. Talerele sită se remarcă prin simplitate.

Talerul sită poate fi ușor înfundat de impuritățile existente în lichidul prelucrat, motiv pentru care este recomandat să lucreze numai cu lichide pure. Talerele sită se construiesc actualmente orizontale, dintr-o bucată sau din mai multe bucăți, în funcție de diametrul coloanei.

Diametrul orificiilor talerului, d_o , se ia uzual între 2 și 25 mm. Pentru lichide curate se ia, $d_o = 2 \dots 6$ mm, diametre optime fiind considerate 4 ... 5 mm. Talerele cu orificii de 8 ... 12 mm permit obținerea unei productivități mai mari. Pasul dintre două orificii $t = (2,5 \dots 5) d_o$. Așezarea orificiilor se face după o rețea formată din triunghiuri echilaterale. Șirurile de orificii se iau perpendicular la direcția curgerii lichidului.

Orientativ, grosimea tablei din oțel carbon pentru talere se ia $(0,5 \dots 0,8) d_o$ pentru $d_o < 5$ mm și 4 ... 5 mm în cazul $d_o > 5$ mm. În cazul utilizării oțelului anticoroziv, talerul se realizează uzual din tablă de 2 ... 3 mm.

Înclinarea talerului este importantă pentru buna funcționare a coloanei. Cu mărirea înclinării talerului se micșorează transferul de substanță și scade pierderea de presiune.

Talerele sită fără deversor (numite și talere cu cădere) pot fi *orizontale* (perpendiculare la axa geometrică a coloanei), *verticale* (paralele cu axa coloanei) sau *înclinate* față de axa coloanei. La aceste coloane, lichidul se scurge spre talerele inferioare prin aceleași orificii (fante) prin care urcă vaporii sau gazele.

Talerele orizontale fără deversor se realizează în două variante: talere plane și talere ondulate (fig. 5.20).

Lipsa deversoarelor simplifică construcția talerului și permite utilizarea întregii sale suprafețe pentru procesul de transfer de substanță. Aceste talere pot fi utilizate atât la funcționarea coloanei la presiune atmosferică cât și la funcționarea acestora sub vid.

5.4.2.4. *Talere grătar*. Aceste talere se realizează prin asamblare din bare sau din benzi de oțel. Barele sau benzile se prind, la distanțe egale între ele, pe inelul de rezemare. Transversal se prevăd laminate sau țevi. Acestea din urmă pot fi așezate pe taler și spiral. În acest caz, talerul poate fi utilizat pentru realizarea simultană a proceselor de transfer de substanță și de căldură. Lățimea fantelor se ia 3 ... 4 mm.

5.4.2.5. *Talere jgheab*. Aceste talere se aseamănă din punct de vedere funcțional cu talerele cu clopote tunel, al căror „racord” pentru trecerea vaporilor are secțiunea dreptunghiulară. Talerul este format din jgheaburi l , cu secțiunea semicirculară, amplasate

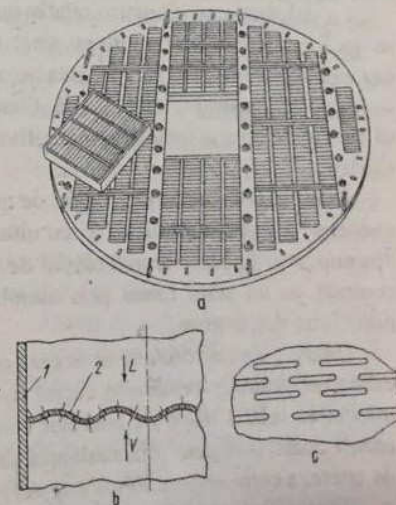


Fig. 5.20. Taler sită fără deversor.
a - plan, cu lătime dreptunghiulară; b - ondulat; c - secțiunea de taler sită.

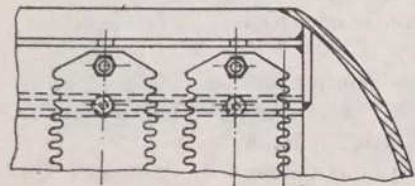
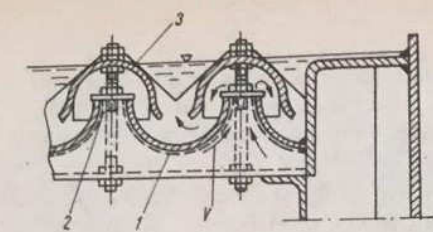


Fig. 5.21. Taler jgheab.

paralel între ele (fig. 5.21). Spațiul dintre marginile a două asemenea jgheaburi formează o fantă, 2, prin care trec vaporii. Deasupra acestor fante se fixează demontabil (cu ajutorul șuruburilor) capacele deflectoare 3, prevăzute cu fante laterale. Talerul se prevede cu deversor de intrare și respectiv de ieșire.

Din punct de vedere constructiv acest tip de taler este avantajos, în schimb eficacitatea sa este relativ scăzută.

5.4.2.6. *Fixarea talerelor în coloană.* Fixarea talerelor de peretele coloanei se poate face nedemontabil sau demontabil. Cele mai simple din punct

de vedere constructiv sunt talerele sudate sau lipite de peretele coloanei. În prezent nu se mai utilizează decât în mod excepțional talere sudate de peretele coloanei. În cazul sudării există pericolul curbării talerului, ceea ce poate avea efect nefavorabil asupra procesului de separare, în timpul funcționării coloanei. Evitarea acestui neajuns la coloanele cu diametrul relativ mic, se asigură prin sudarea unui cornier de peretele coloanei, urmând ca pe acesta să se fixeze talerul. În cursul operațiunii de sudare talerul se îndreaptă prin ciocănire sau prin alt procedeu.

La coloanele cu diametru relativ mare se sudează în coloană, la cota la care se va fixa talerul, mai multe corniere transversale. Talerul se execută în acest caz din segmente care se vor suda pe cornierele de rezemare. În felul acesta se sudează, de exemplu, talerele sită. Elementele de rezemare ale talerelor trebuie să fie rigide spre a preîntâmpina deformarea talerelor (relativ subțiri) în timpul sudării.

Talerele coloanelor din cupru, de exemplu, se lipesc de peretele coloanei și uneori se prevăd suplimentar și cu nituri. La diametre relativ mari, talerele sită din cupru se lipesc circumferențial de peretele coloanei și se reazemă în zona centrală pe un stâlp format prin asamblarea unor montanți. Fiecare taler este prins între doi montanți.

Talerele demontabile se utilizează cel mai des, deși sunt mai complicate. Nu există pericolul deformării în cursul fixării de peretele coloanei și este posibilă înlocuirea relativ ușoară a talerelor corodate sau uzate. De asemenea, în unele cazuri poate fi reglată orizontalitatea talerului. Se disting îmbinări demontabile de talere, a căror orizontalitate este nereglabilă sau reglabilă.

Talerele a căror orizontalitate este nereglabilă trebuie să fie montate precis.

În cazul realizării talerului din mai multe segmente, acestea se sprijină pe traverse montate în coloană. Segmentele de taler se introduc în coloană în

vederea montării, prin gurile de vizitare, prevăzute în acest scop. Fixarea segmentelor de taler pe traverse se face cu ajutorul șuruburilor. Asamblarea talerului de peretele coloanei se face în acest caz, demontabil, pe inele sudate de peretele interior al coloanei (fig. 5.22). Montarea talerelor dintr-o bucată, asamblate ca în figura 5.22, trebuie să fie precisă, deoarece nu este posibilă reglarea orizontalității.

5.4.2.7. *Precizia execuției și montării talerelor.* Orizontalitatea talerelor condiționează debitul instalației și calitatea transferului de masă.

Căderea de presiune prin stratul de lichid de pe taler, depinde în mare măsură de grosimea stratului de lichid de pe taler. Această componentă a rezistenței hidraulice totale a talerului depinde de precizia execuției montării talerului. Cu cât diferența dintre grosimea atât este mai neuniformă funcționarea talerului. Din acest motiv, este necesar ca prin execuție și montaj să se asigure orizontalitatea talerului, denivelări și săgeată cât mai mici ale acestuia.

La coloane cu $D \leq 1000$ mm, abaterea de la orizontalitate a talerului nu trebuie să depășească $0^\circ 30'$, iar denivelările nu trebuie să fie mai mari decât 2 mm.

Valoarea admisă a săgeții sau denivelării depinde de parametrii de regim ai coloanei. La coloanele cu talere cu clopote care funcționează cu debite mari de lichid, respectiv la coloanele care funcționează sub presiune (în absorbere și desorbere) se admit denivelări față de orizontală sau săgeți de până la 10...12 mm.

Montarea talerului în coloană trebuie să fie etanșă, în raport cu coloana, pe circumferința de așezare. Etanșarea se face fie cu garnituri de etanșare, fie cu șnur de azbest și sticlă solubilă (silicat de sodiu, silicat de potasiu).

Coloanele care funcționează sub vid, se caracterizează prin debite mici de lichid. Din aceste motive, la montarea talerelor în coloanele care funcționează sub vid trebuie să se dea o atenție deosebită asigurării etanșeității segmentelor de taler.

Etanșeitatea talerelor se poate verifica, după montare, cu apă. Se consideră că etanșeitatea este bună dacă în 20 min. nivelul lichidului scade cu cel mult 25 mm sub nivelul plăcii deversoare.

Planitatea talerului și uniformitatea funcționării talerului se poate verifica separat pe un dispozitiv relativ simplu (fig. 5.23). Această veri-

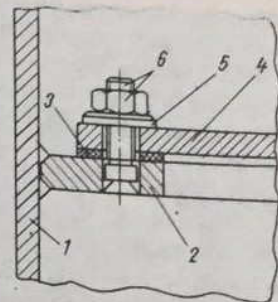


Fig. 5.22. Asamblarea demontabilă a talerului de peretele coloanei.

1 - peretele coloanei; 2 - inel sudat de peretele coloanei; 3 - garnitură de etanșare; 4 - taler; 5 - șalbă; 6 - șurub cu piuliță.

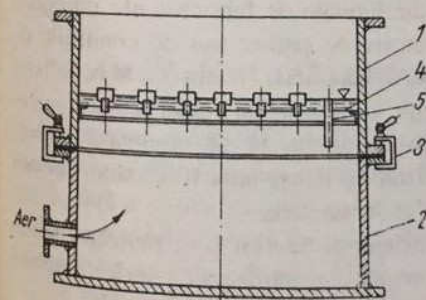


Fig. 5.23. Dispozitiv de testare a uniformității bărbotării prin stratul de lichid de pe taler: 1 - tronson; 2 - suport; 3 - clemă; 4 - taler; 5 - deversor

ficare se impune la talerele la care grosimea stratului de lichid străbătut de vapori sau gaze este relativ mică (25 ... 30 mm).

De exemplu, la un taler cu clopote, o denivelare neînsemnată a unui clopot care duce la o abatere de 2 ... 3 mm a grosimii stratului de lichid străbătut de vapori, influențează simțitor asupra uniformității barbotării și, în consecință, asupra eficacității talerului.

Barbotarea se verifică suplimentar în timpul așezării talerelor în tronsonul de coloană (dacă coloana este realizată din tronsoane) sau prin așezarea talerului într-un tronson separat destinat acestui scop (v. fig. 5.23). Tronsonul 1 se așază pe un suport 2 prevăzut cu flanșe, de care se strânge cu ajutorul unor eleme, 3, cu excentric. După așezarea talerului 4, se astupă țeava deversoare 5, și se toarnă apă pe taler până se realizează o grosime a stratului de lichid egală cu toamnă apă pe taler până se realizează o grosime a stratului de lichid egală cu aceea din timpul funcționării coloanei. Apoi se trimite aer comprimat în compartimentul format sub taler. Aerul barbotează prin stratul de apă și se desprinde în jurul fiecărui clopot sub formă de bule. În cazul repartizării inegale a bulelor, se reglează adâncimea de cufundare a clopotelor respective. Această verificare se face pentru fiecare taler. După repararea coloanelor, în special a acelor care în timpul funcționării au o grosime relativ mică a stratului de lichid pe taler, se verifică uniformitatea barbotării pe fiecare taler.

5.5. CORPUL COLOANEI

Corpul coloanei se poate realiza din oțel laminat sau turnat, din fontă, precum și din materiale neferoase (cupru, aluminiu etc.) sau nemetalice. Uneori se utilizează materiale placate (oțel carbon placat cu oțel înalt aliat, cupru, aluminiu etc.), oțeluri emailate sau chiar virole căptușite cu tablă dintr-un material rezistent la coroziune sau eroziune în condițiile date.

Corpul coloanei se poate obține din virole sudate între ele (până la obținerea înălțimii necesare) sau din tronsoane sudate sau turnate, prevăzute cu flanșe și asamblate cu șuruburi sau prezoane.

Realizarea coloanei, în uzina constructoare, din două sau mai multe tronsoane poate fi determinată de posibilitățile limitate de fabricare ale întreprinderii constructoare, de tehnologia de montare pe șantier sau de condițiile de transport de la întreprinderea constructoare la beneficiar. Pentru ca la beneficiar tronsoanele să fie montate în aceeași poziție ca și în uzina constructoare, la coloanele din tronsoane cu flanșe, pe acestea din urmă se montează știfturi (nesimetrice). În cazul coloanelor neprevăzute cu flanșe între tronsoane, acestea pot fi asamblate între ele prin sudare la locul de montare.

Corpurile cilindrice se realizează cu diametrul interior corespunzător seriei normale de diametre, pentru presiuni de regim corespunzătoare seriei normale de presiuni.

Grosimile virolelor coloanei nu sunt constante pe înălțime: grosimea lor crește de la vârful coloanei spre baza acesteia. Corpul coloanei rezultă deci, în

modul de grosimi diferite, prin sudare sau demontabil, cu flanșe și șuruburi.

De corpul coloanei sunt asamblate diferite racorduri, guri de vizitare (fig. 5.24) etc. În partea superioară, la „vârful” coloanei se racordează conducta de vapori (fig. 5.25). Pentru coloane foarte înalte această conductă pune probleme deosebite din punct de vedere al prinderii și susținerii.

5.6. REZEMAREA COLOANEI

Corpul cilindric al coloanei se prelungeste în partea inferioară cu o virolă cilindrică sau tronconică prin intermediul căreia coloana (autoportantă) se rezemă pe fundație. Suportul coloanei (fig. 5.26) este prevăzut cu ferestre pentru trecerea conductelor tehnologice, pentru controlul etanșeității flanșelor sau manevrarea robinetelor de curgere, cât și pentru controlul vizual al cordoanelor de sudură. În partea superioară suportul se prevede cu 1 + 3 orificii pentru aerisire, dispuse egal distanțat între ele. Suporturile cu înălțimea mai mare de 3 000 mm se prevăd cu scară interioară.

5.7. AMENAJĂRI EXTERIOARE

În scopul deservirii coloanei, în dreptul gurilor de vizitare și de control principale și a armăturilor importante se prevăd platforme (podețe) fixate de coloană, fără a împiedica dilatarea liberă a acesteia. Accesul la platformă se face cu ajutorul scărilor piceșă sau al scărilor înclinate sub un unghi de maximum 60°. Platformele au lățimi de 800; 1 000 sau 1 200 mm.

Se întâlnesc construcții cu platforme solidarizate de coloană (fig. 5.27), cu platforme independente și construcții mixte (formate din platforme solidarizate de coloană și dintr-o construcție independentă de tip ușor, prinsă articulată de



Fig. 5.24. Coloană asamblată din tronsoane.



Fig. 5.25. Conducta de vapori.

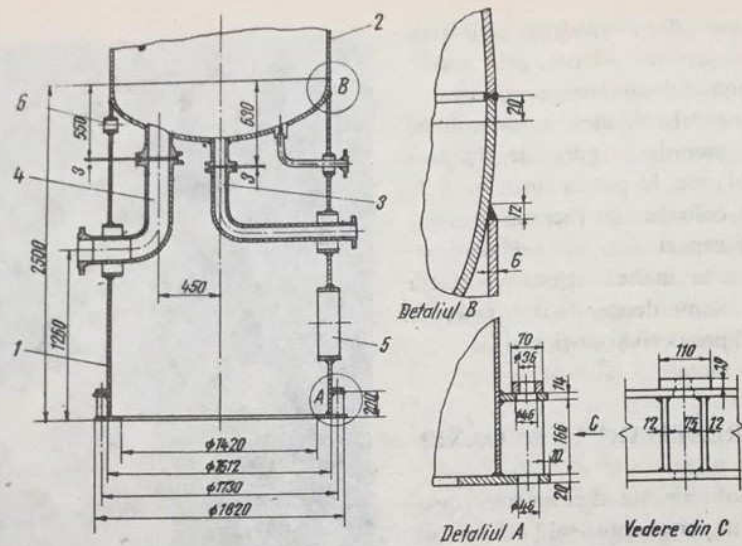


Fig. 5.26. Suport pentru rezemarea coloanei:

1 - suport, 2 - corpul coloanei, 3 - conductă, 5 - deschidere pentru control, 6 - orificiu de aerisire

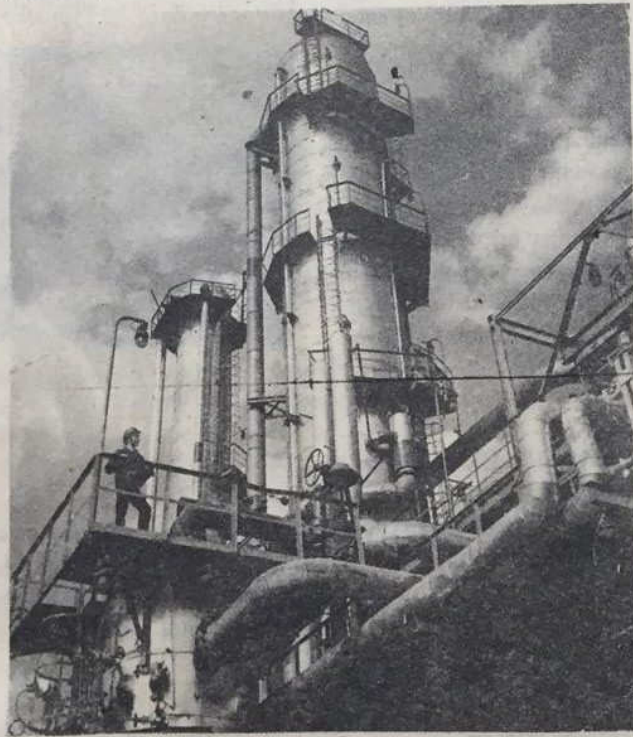


Fig. 5.27. Amenajări exterioare ale coloanei.

coloană în partea inferioară a acesteia). Solidarizarea platformelor de coloană se poate face fie prin sudare directă de aceasta, fie prin prinderea cu ajutorul șuruburilor de nervuri sudate pe coloană.

Scările se montează pe suporturi fixate de coloană, la intervale de circa 3 m, care rigidizează și împiedică balansarea scării.

Scările cu înălțimea de 12 ... 24 m se prevăd, la jumătatea înălțimii, cu o platformă. La scările cu înălțimea mai mare de 24 m se prevede câte o platformă la fiecare 8 m.

Unele coloane se montează grupat și se prevăd cu platforme comune, realizate pe o construcție metalică în jurul coloanelor.

Coloanele montate izolat, se prevăd cu dispozitive proprii de ridicare, montate la vârful coloanei. Aceste dispozitive deservesc în primul rând gurile de vizitare. Acestea din urmă se amplasează pe o singură generatoare sau pe două generatoare ale coloanei, dispuse sub un anumit unghi la centru. El servește lucrărilor de întreținere ale coloanei care constau, în general, în revizia și înlocuirea amenajărilor interioare ale coloanei.

Dispozitivul de ridicat se caracterizează prin greutatea maximă de ridicare (500 sau 1 000 kg).

6.

UTILAJE PENTRU TRANSFER TERMIC

6.1. GENERALITĂȚI

Utilajele pentru transfer termic asigură trecerea căldurii de la o substanță la altă substanță prin intermediul unui perete despărțitor. Soluțiile de principiu ca și soluțiile constructive pentru aceste utilaje sunt de o mare diversitate. Transmiterea căldurii poate fi însoțită de schimbarea stării de agregare a unui sau ambilor agenți termici, sau poate avea loc fără această schimbare. Construcția utilajelor este influențată de evoluția stării agenților termici. Prin agenți termici se înțeleg substanțele care participă la schimbul de căldură.

Din categoria utilajelor pentru transfer termic fac parte: schimbătoarele de căldură, evaporatoarele și condensatoarele.

Circulația agenților termici se poate face în echicurent, în contracurent, în curent încrucișat sau în curent mixt.

6.2. SCHIMBĂTOARELE DE CĂLDURĂ

Schimbătoarele de căldură sunt aparate care realizează transferul de căldură de la un agent termic la fluidul de lucru fără schimbarea stării de agregare. Agentul termic, este, în general, un fluid (lichid sau gaz) și mult mai rar poate fi un material solid (bucăți sau pulverulent). Cel mai cunoscut schimbător de căldură este caloriferul, care realizează schimbul de căldură dintre aburul care circulă prin țevi și aerul care înconjoară caloriferul.

Agentul termic poate fi mai cald decât fluidul de lucru (încălzitoare) sau poate fi mai rece (răcitoare).

Schimbătoarele de căldură se clasifică după mai multe criterii și anume:

- din punct de vedere constructiv, schimbătoarele de căldură tubulare pot fi: cu manta sau fără manta și schimbătoare de căldură netubulare;
- după direcția de deplasare a agenților termici, schimbătoarele de căldură pot fi: în echicurent, contracurent și curent mixt;
- după materialul din care se execută, schimbătoarele de căldură pot fi: metalice, nemetalice, în construcție combinată.

Fiecare dintre tipurile de schimbătoare de căldură ca avantaje și dezavantaje. Schimbătoarele de căldură pot lucra în instalație au utilaje separate, racordate în fluxul tehnologic, sau pot fi un subansamblu al unui utilaj, ca de

exemplu fierbătorul unui aparat tip coloană, care face parte din construcția aparatului.

Există o varietate mare de schimbătoare de căldură din care vor fi tratate tipurile celor mai des întâlnite în industriile de proces.

Schimbătoarele de căldură cu țevi coaxiale (tip „țevă în țevă”). Aceste schimbătoare de căldură se obțin prin conectarea în serie prin intermediul unor coturi 3, și dispunerea în paralel a elementelor, din țevi coaxiale (fig. 6.1. a). În jurul țevii centrale 1 se fixează țeava concentrică 2. Prin interstițiul dintre cele două țevi circulă agentul termic în contracurent cu fluidul de lucru din țeava 1. Prin alegerea corespunzătoare a diametrului țevii exterioare se poate asigura, pentru agentul termic dintre țevi, o viteză mare și deci un coeficient de transfer termic mare, ceea ce poate duce la reducerea consumului de agent termic și la arii relativ mici ale suprafeței de transfer termic. Vitezele mari de circulație împiedică depunerea particulelor solide pe țevi. În figura 6.1. b este reprezentat schematic un element „țevă în țevă”.

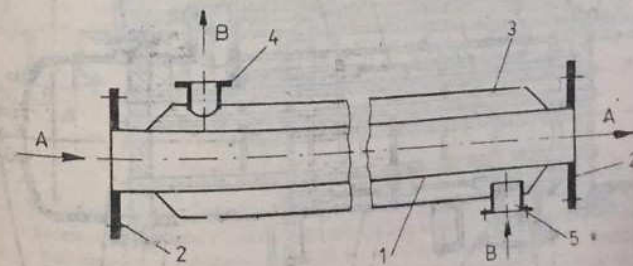
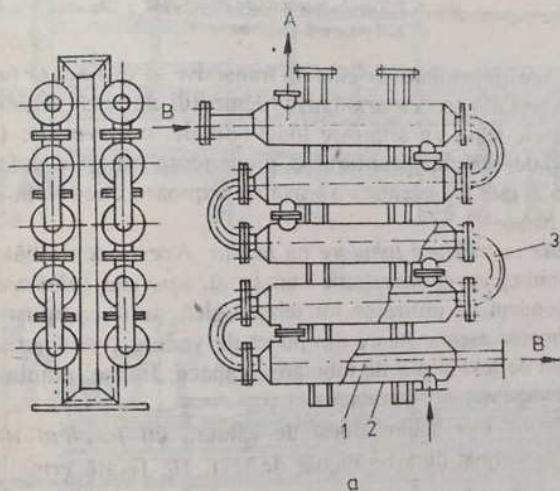


Fig. 6.1. Schimbătoare de căldură tip „țevă în țevă”:

a - ansamblul schimbătorului, b - element „țevă în țevă”. 1 - țeava centrală, 2 - țeava exterioară, 3 - manta (țeava exterioară), 4, 5 - racorduri, A - fluidul de lucru, B - agentul termic.

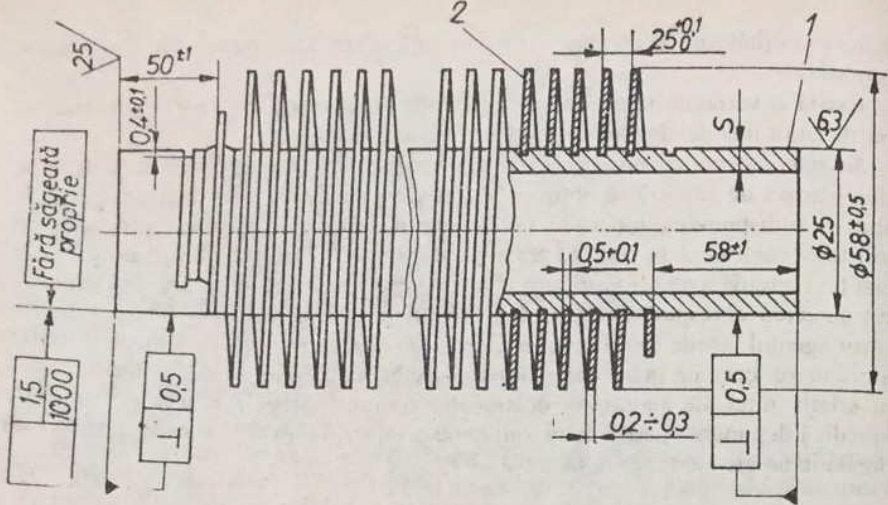


Fig. 6.2. Teavă cu aripioare elicoidale:
1 - teavă; 2 - aripioare.

În vederea măririi cantității de căldură transmise se utilizează uneori schimbătoare de căldură din țevi cu aripioare. Elementul de bază al unui asemenea aparat îl constituie țeava cu aripioare longitudinale, transversale (discuri înelare) sau elicoidale, obținute prin turnare, prin sudare sau prin deformare plastică. În figura 6.2. este reprezentată o țeavă cu aripioare elicoidală construită la S.C. „GRIRO” S.A.

Schimbătoare de căldură tubulare cu manta. Aceste schimbătoare de căldură sunt denumite, într-o accepțiune mai largă, *aparate tubulare*. Aparatele tubulare, independent de utilizarea lor tehnologică, sunt compuse din subansambluri și elemente asemănătoare din punct de vedere constructiv: fasciculul tubular (sistemul de țevi și plăcile tubulare), capace, flanșe, mantaua, racordurile, elemente compensatoare de dilatare etc.

Cel mai simplu este schimbătorul de căldură cu fasciculul tubular rigid (fig. 6.3. a). Este format dintr-un număr de țevi, 10, fixate ermetic în plăcile

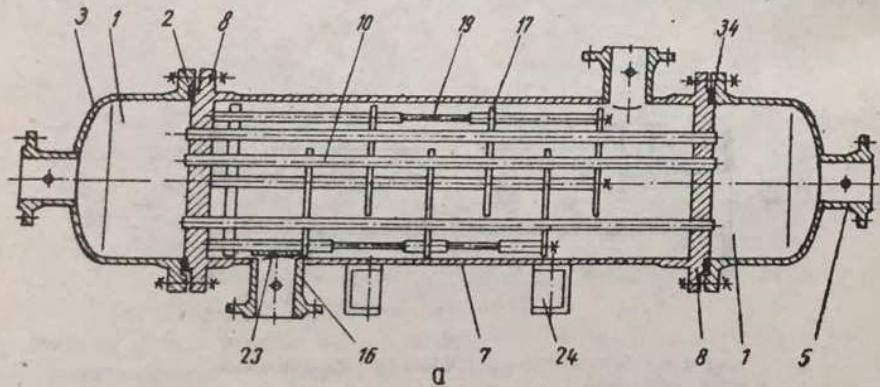
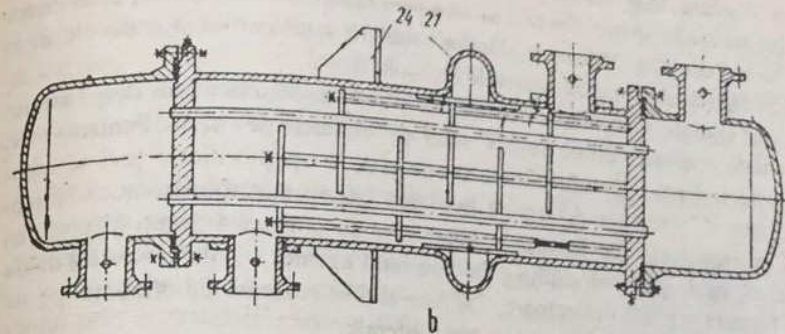
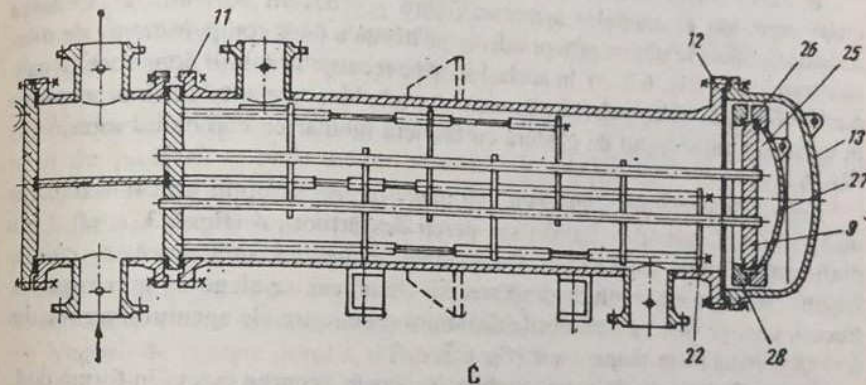


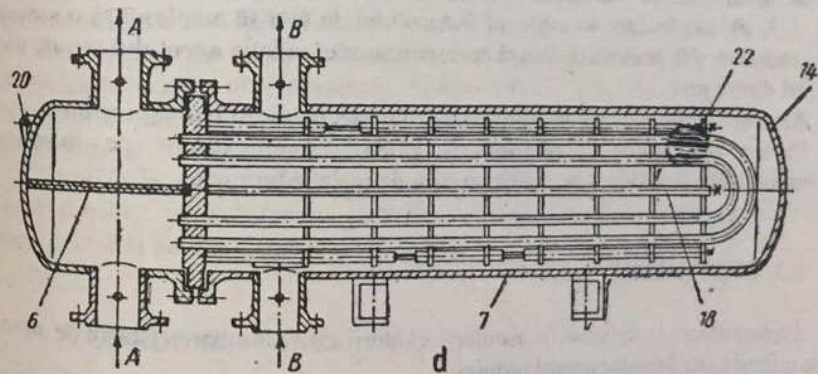
Fig. 6.3. a.



b



c



d

Fig. 6.3. Schimbătoare de căldură tubulare, cu manta (aparate tubulare) și cu fasciculul tubular: a - rigid, b - cu compensator de dilatare, c - cu cap mobil fără spațiu de vapor, d - în formă de U. 1 - cameră fixă; 2 - flanșă cameră fixe; 3 - fund elipsoidal; 4 - fund plan; 5 - racord; 6 - perete despărțitor (diafragmă); 7 - manta; 8 - placă tubulară fixă; 9 - placă tubulară mobilă; 10 - țevi; 11 și 12 - flanșe; 13 și 14 - funduri bombate; 15 - flanșă și corp entiere etanșate; 16 - racord; 17 - șicană transversală; 18 - șicană longitudinală; 19 - tranzi și țevi distanțiere; 20 - ureche de ridicare; 21 - compensator de dilatare; 22 - șicană suport de capăt; 23 - placă deflectoare cu bride de fixare; 24 - suporturi; 25 - cap mobil sau cameră mobilă interioară; 26 - flanșă camerei mobile; 27 - fundul camerei mobile; 28 - șurubul de strângere.

tubulare 8, care sunt sudate la ambele capete ale mantalei 7. Introducerea agentului termic în spațiul din țevi se face prin racordurile 5, iar în spațiul dintre țevi prin racordul 16. Deasupra plăcilor tubulare se assemblează capacele 3, în interiorul cărora se formează camerele de capăt fixe 1.

Aceste aparate sunt simple constructiv și ieftine, în schimb au dezavantajul unei arii de transfer termic relativ mici pe unitatea de volum. Pentru a mări viteza și turbulența agentului termic dintre țevi, în spațiul dintre țevi se montează șicane 17 (acestea determină mărimea vitezei agentului termic, îndreptându-l perpendicular pe țevă). În acest scop se utilizează tiranți și țevi distanțiere 19. În dreptul racordului prin care intră agentul termic în spațiul dintre țevi se fixează o placă deflectoare, 23. Aparatul se reazemă fie orizontal pe suporturi tip șa, 24, fie vertical, pe suporturi laterale.

În cazul unei diferențe de temperatură mari dintre manta și țevi, apar solicitări mari ale elementelor aparatului, care pot deveni periculoase. Evitarea acestor tensiuni se obține prin prinderea pe manta a unor compensatoare de dilatare termică 21 (fig. 6.3, b). În același scop se recurge la soluții constructive care permit dilatarea independentă a fasciculului tubular și a mantalei, ca de exemplu în cazul schimbătorului de căldură cu fascicul tubular cu cap mobil interior 25 (fig. 6.3, c).

Schimbătoarele de căldură cu mai multe treceri se obțin prin introducerea uneia sau mai multor diafragme sau pereți despărțitori, 6 (fig. 6.3, c, d). Cu o diafragmă se obțin două treceri. Dacă ambele camere, 1, sunt prevăzute cu diafragme, se obțin mai mult de două treceri. De obicei, se alege un număr par de treceri, ceea ce face ca racordurile de intrare și de ieșire ale agentului termic din țevi să rămână la un singur capăt (fig. 6.3, c, d).

În locul camerei de capăt mobile, se poate recurge la țevi în formă de U (fig. 6.3, d), caz în care în mijlocul fasciculului de țevi se amplasează o șicană longitudinală, 18; aceasta dirijează corespunzător circulația agentului termic din spațiul dintre țevi.

Aparatele tubulare se construiesc pentru joasă, medie și înaltă presiune.

Pentru micșorarea pierderilor de căldură spre exterior pe mantaua schimbătorului de căldură se aplică un strat de izolație termică.

6.3. EVAPORARE

Evaporatoarele servesc transmiterii căldurii cu schimbarea stării de agregare a unui sau ambilor agenți termici.

Procesul de evaporare este utilizat pentru separarea componentelor unei soluții; ca urmare, vaporii solventului, degajați în timpul fierberii, sunt evacuați din aparat, în acesta rămânând substanța solubilizată (cu volatilitate mai redusă), sub formă de soluție concentrată.

În prezent există o mare varietate de evaporatoare. Un evaporator static, conține, în principiu, următoarele subsansambluri caracteristice: un schimbător de căldură, constituind camera de încălzire; un spațiu de vaporizare, unde au

loc fierberea și degajarea vaporilor solventului și un separator de picături, în interiorul căruia se realizează separarea picăturilor.

În figura 6.4 este prezentat un evaporator cu suprafața de încălzire încorporată.

Principiul de funcționare. Se introduce soluția prin racordul I până la atingerea nivelului corespunzător în țevile fasciculului schimbătorului. 1. Se introduce apoi aburul prin racordul III care va încălzi soluția din interiorul țevilor până la temperatura de fierbere. O parte a soluției, care are densitatea mai mică și conține bule de vaporii de apă, se va ridica în camera de vaporizare, 2, în care se produce evaporarea bulelor de apă ce vor ajunge la separatorul de picături 3, unde se va produce separarea picăturilor de vaporii. Picăturile de soluție se vor întoarce în spațiul de vaporizare prin țeava verticală, 5, în partea de deasupra plăcii tubulare superioare a schimbătorului unde vor reintra în procesul de concentrare care se continuă până la obținerea produsului finit.

Vaporii de la separatorul 3, din care s-au eliminat picăturile de soluție, vor fi evacuați prin racordul IV, sub formă de vaporii ușiți, iar soluția concentrată, reprezentând produsul finit al evaporatorului, va fi evacuat prin racordul V.

Evaporatoarele cu suprafață de încălzire încorporată sunt construcții moderne caracterizate prin simplitate. Soluția circulă prin interiorul țevii schimbătorului de căldură, prin care se ridică substanța ce fierbe și care urmează a se concentra, iar țeava centrală de cădere, 6 servește la întoarcerea soluției.

Peretele evaporatorului va fi prevăzut cu vizoare în scopul urmăririi nivelului dinamic al substanței; guri de vizitare; racorduri pentru termometre, manometre și pentru spălare.

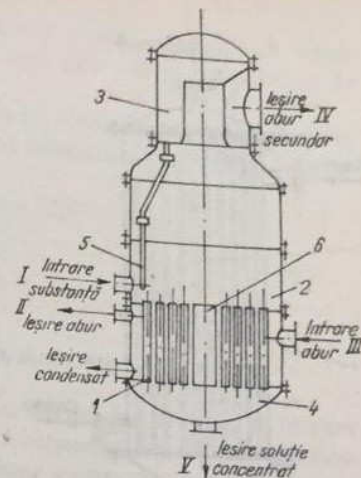


Fig. 6.4. Evaporator cu suprafața de încălzire încorporată:
1 - camera de încălzire, 2 - camera de vaporizare (spațiu de evaporare), 3 - separator de picături, 4 - spațiu destinat soluției concentrate, 5 - țeavă de întoarcere, 6 - țeavă centrală de cădere (servește la întoarcerea soluției concentrate la buza aparatului).

6.4. CONDENSATOARE

Sunt aparate tehnologice cu ajutorul cărora se face condensarea vaporilor dintr-o instalație. Sunt cazuri când vaporii rezultați în urma unui proces tehnologic trebuie recuperați, transformându-i în stare lichidă. Aceasta se face cu ajutorul condensatoarelor.

O dată cu condensarea vaporilor dintr-o instalație se va face și evacuarea gazelor necondensabile (provenite din aerul condensat în apa de răcire, din gazele dizolvate în substanțe din care provin vaporii sau din gazele rezultate din

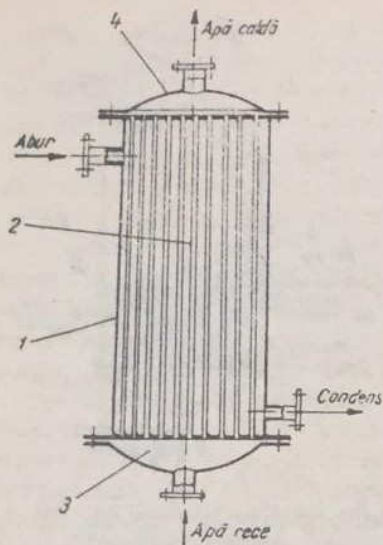


Fig. 6.5. Condensator tubular de suprafață.

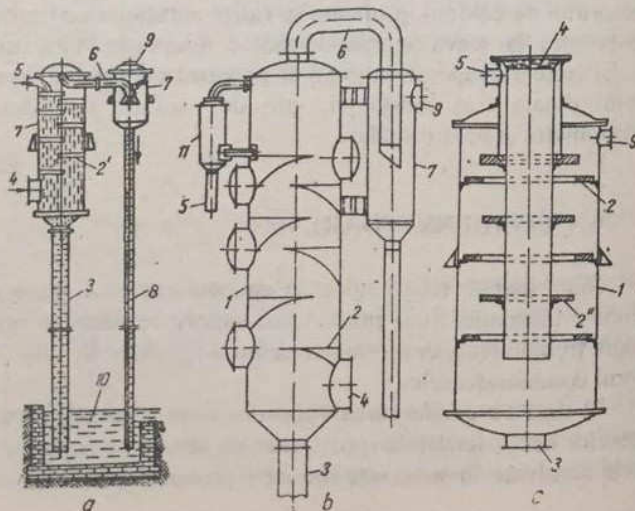
Varianta optimă de obținere a condensatului are loc în condensatoarele care funcționează în contracurent.

Ridicarea presiunii vaporilor ce urmează a fi condensați este însoțită de creșterea temperaturii acestora, asigurându-se astfel condensarea în condiții mai bune.

Pentru realizarea unui contact bun între vaporii și apa de răcire, prin creșterea suprafeței și a duratei de contact între cele două fluide, se utilizează condensatoarele barometrice de amestec (fig. 6.6).

Fig. 6.6. Condensatoare barometrice cu șicane:

a, b, c. - tipuri constructive:
 1 - mantaua condensatorului
 2 - șicane (polite), 2' - șicane perforate, 2'' - șicane înclinate;
 3, 8 - coloane barometrice;
 4 - racord pentru intrarea vaporilor;
 5 - racord pentru intrarea apei de răcire;
 6 - conductă pentru gazele necondensabile;
 7 - separator de picături;
 9 - racord către pompa de vid;
 10 - recipient pentru condensat;
 11 - distribuitor pentru apa de răcire



reacții în instalație) cu ajutorul unei pompe (de vid).

Prin condensare, vaporii saturați cedează căldura de vaporizare, menținându-și temperatura constantă.

Pentru preluarea căldurii latente de vaporizare și pentru răcirea condensatului, se utilizează apa de răcire sau aerul.

Condensatoarele tubulare de suprafață (fig. 6.5) sunt construite pe principiul schimbătoarelor de căldură la care apa de răcire circulă prin țevi iar vaporii condensează în spațiul intertubular. Gazele necondensabile sunt evacuate împreună cu condensatul (în cazul condensatoarelor umede) sau sunt îndepărtate cu ajutorul unei pompe de vid, așa cum se procedează de altfel în cazul condensatoarelor uscate.

Acest condensator este prevăzut la interior cu șicane executate sub forma unor segmente din tablă, pline sau perforate, spre care este dirijat curentul de vaporii.

Pentru evacuarea condensatului se va utiliza o coloană barometrică. Reținerea picăturilor de condens se realizează de către un separator de picături intercalat între condensator și pompa de vid.

Lungimea coloanei barometrice variază între 10,5-11 m.

6.5. SEPARATOARE DE PICĂTURI

6.5.1. Rol funcțional, tipuri constructive, descriere

Aparatele utilizate la separarea picăturilor din gaz sau din abur se numesc *separatori de picături*. Aceste aparate funcționează ca utilaje de sine-stătătoare, instalate separat sau în interiorul altor aparate, ca: evaporatoare, coloane etc.

Separatorii de picături pot fi: inerțiale, centrifuge și de suprafață.

6.5.2. Separatorul inerțial

Separatorul inerțial (fig. 6.7) se utilizează la separarea picăturilor din aerul antrenat în condensatoarele barometrice cu ajutorul unei pompe de vid, folosind un jet de abur sau gaz. Acesta antrenează picăturile de lichid. Aburul sau gazul este nevoit, în interiorul separatorului, să schimbe brusc direcția, se lovește de perete și scurgându-se pe el, elimină astfel picăturile de lichid din curentul de abur sau gaz. Pentru o funcționare mai eficientă, diametrul interior D al separatorului este mai mare decât diametrul d al conductei centrale de intrare a amestecului gaz-lichid de cel puțin patru ori.

În principiu, un astfel de separator se compune dintr-o virolă cilindrică, având în partea superioară un capac amovibil de formă semi-elipsoidală, iar la partea inferioară, un fund conic prevăzut cu racordul pentru eliminarea picăturilor.

Separatorii inerțiale funcționează în poziție verticală. Pentru funcționare se introduce amestecul gaz-lichid prin racordul I .

În interiorul aparatului la ieșirea amestecului gaz-lichid din conducta centrală, picăturile de lichid tind să-și păstreze direcția inițială. Datorită inerției se lovesc de peretele aparatului, ieșind prin racordul de golire III ; gazul va părăsi aparatul prin racordul II .

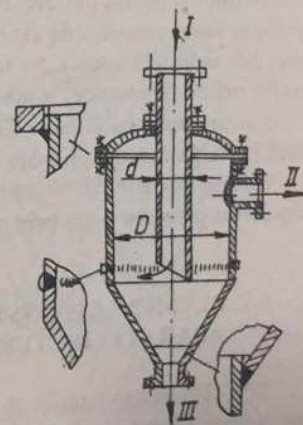


Fig. 6.7. Separator inertial.

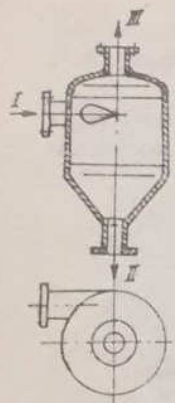


Fig. 6.8. Separator centrifug.

6.5.3. Separatorul centrifug

Se folosește la separarea a două substanțe în amestec lichid-gaz. Amestecul lichid-gaz se introduce în aparat prin racordul de alimentare I. Datorită acțiunii forței centrifuge, picăturile de lichid sunt proiectate spre periferia separatorului, aderând la pereții acestuia și scurgându-se în jos. Scurgerea se face sub forma unei pelicule continue pe suprafața anterioară a separatorului. Viteza optimă de deplasare a amestecului gaz-lichid este de 8-25 m/s.

În general, un separator centrifug (fig. 6.8) se compune dintr-o virolă cilindrică închisă la partea inferioară, cu un fund conic racordat, prevăzut cu racordul central II pentru eliminarea picăturilor, iar la partea superioară, cu un fund sferic racordat prevăzut cu racordul III pentru eliminarea aburului sau a gazului.

6.6. MATERIALE DE CONSTRUCȚIE SPECIFICE

Pentru suprafețele prin care se efectuează transferul termic sunt de preferat materiale cu conductivitate termică mare. Totuși, ținând seama de faptul că substanțele care circulă prin utilaje sunt corosive, alegerea se face ținând seama și de rezistența la coroziune, de asemenea de cerințele privitoare la puritatea produsului. Pentru a preveni coroziunea locală, electrochimică, materialele pentru placa tubulară și pentru țevi trebuie să fie cât mai apropiate, din punctul de vedere al structurii și al compoziției.

Pentru fasciculul tubular se utilizează oțel carbon, oțel anticorosiv înalt aliat, cupru, bronz, titan, zirconiu, tantal; ultimele două îndeosebi pentru aparate relativ mici și pentru placare. În unele cazuri speciale de coroziune se recurge la țevi din fontă cenușie (de exemplu, sistemul tubular din coloanele de carbonatare din industria sodiei). Se utilizează, de asemenea, materiale neferoase, ca grafit, materiale plastice, materiale ceramice.

Fiecare material impune o tehnologie de fabricație aparte pentru utilaj, chiar dacă principiul de funcționare al utilajului este același.

Plăcile tubulare fiind relativ groase, se construiesc din oțel carbon care este mai ieftin și se plachează prin explozie, sau depuneri din electrod bandă.

6.7. ELEMENTE CONSTRUCTIVE ȘI DE CALCUL SPECIFICE APARATELOR TUBULARE

Țevi. Diametrul interior al țevii rezultă din considerente funcționale bazate pe: viteza fluidului prin țevi, pericolul depunerilor pe perete, existența unor particule solide în suspensie.

Țevile din oțel carbon sau aliat, trase sau laminate la rece pentru fasciculul tubular se iau uzual cu diametrul exterior cuprins între 16 și 57 mm (în mod frecvent de 16; 20; 25; 38 mm), deși există și țevi cu $d_e = 60; 70; 76; 80$ și 89 mm. Diametrele mari se utilizează pentru gaze sau lichide vâscoase, iar cele mici pentru fluide curate. Lungimile normale de fabricație ale țevilor de oțel sunt de 1,5 ... 9 m, iar grosimile pereților sunt cuprinse între 1,5 și 8,0 mm.

Țevile din fontă și din materiale ceramice, din considerente de fabricație, au diametrul cuprins între 50 și 100 mm și lungimi de 2 ... 3 m.

Țevile din cupru, alamă și aluminiu se fabrică cu $d_e = 18 ... 70$ mm.

Numărul n și lungimea l a țevilor rezultă din aria de transfer termic necesară A și debitul S_0 de soluție:

$$l = \frac{A}{P} \quad (6.1)$$

unde $P = \pi \cdot d_i n$ este perimetrul tuturor țevilor;

$$n = (S_0/v)(\pi \cdot d_i/4);$$

v - viteza soluției (0,3 ... 2 m/s pentru lichide și 8 ... 25 m/s pentru gaze);

d_i - diametrul interior al țevii.

Grosimea peretelui țevii se calculează cu relația:

$$\delta = \frac{p \cdot d_i}{2\sigma_a} \quad (6.2)$$

în care p , este presiunea din interiorul țevii; σ_a - tensiunea admisibilă pentru materialul de execuție al țevii.

Aria de transfer termic efectiv al tuturor țevilor este:

$$A_t = \pi d_i \cdot l \quad (6.3)$$

Placa tubulară servește fixării țevilor fasciculului tubular. În acest scop este prevăzută cu numărul necesar de orificii, ce se amplasează în funcție de numărul de treceri ale fluidului care circulă prin țevi (fig. 6.9). Placa tubulară se construiește, de obicei, ca placă plană. Sunt însă construcții cu „placă” tubu-

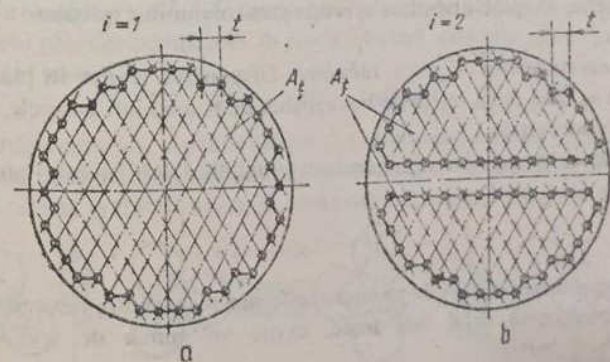


Fig. 6.9. Aria ocupată de țevi, A_t , pe placa tubulară a unui schimbător de căldură cu:

a - o trecere; b - două treceri (ANS 8.115.87). - pasul dintre țevi

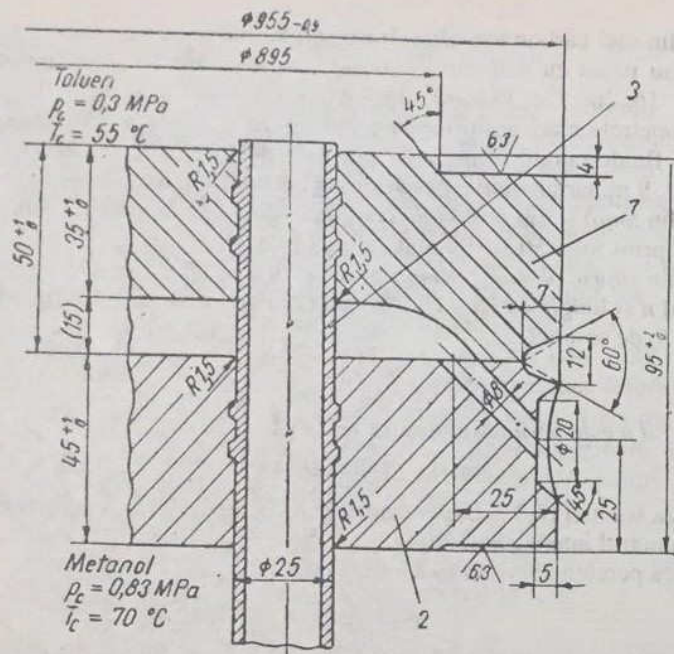


Fig. 6.10. Placă tubulară dublă:
1, 2 - plăci tubulare; 3 - țevă

lară sferică sau elipsoidală. Placa tubulară se construiește, în general, dintr-o bucată. În cazuri deosebite (fluide toxice, inflamabile sau puternic corosive, la presiuni și temperaturi ridicate), când se cer îmbinări placă tubulară-țevă de maximă securitate, se poate recurge la placă tubulară dublă (fig. 6.10), iar capetele țevii mandrinat se sudează la placa tubulară. Găurirea plăcii se face după sudarea între ele a celor două componente ale plăcii. Spațiul dintre cele două elemente ale plăcii tubulare servește controlului în exploatare a etanșeității sistemului.

Dispunerea țevelor în placa tubulară. Dispunerea țevelor în placa tubulară (fig. 6.11) se face după rețele de hexagoane, de triunghiuri isoscele, de pătrate, de cercuri concentrice.

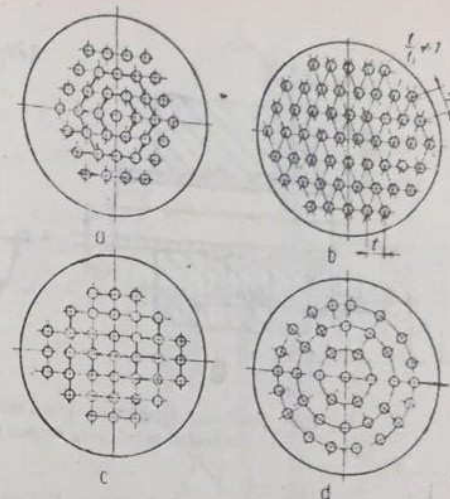
Rețeaua de hexagoane regulate (sau triunghiuri echilaterale) are un număr de țevi (fig. 6.11, a).

$$n_o = 3a(a - 1) + 1 \quad (6.4)$$

unde a este numărul de țevi de pe latura celui mai mare dintre hexagoane. Pe diagonala hexagonului celui mai mare, există un număr de țevi $c = 2a - 1$, astfel că:

$$n_o = \frac{3}{4}(c^2 - 1) + 1. \quad (6.5)$$

Fig. 6.11. Dispunerea țevelor în placa tubulară după rețea de:
a - hexagoane regulate; b - triunghiuri isoscele
c - pătrate; d - cercuri concentrice.



Rețeaua de triunghiuri isoscele (fig. 6.11, b) se utilizează, de obicei, la plăcile tubulare dreptunghiulare și au avantajul unei trasări relativ ușoare.

Rețeaua de pătrate (fig. 6.11, c) este mai rar utilizată. Numărul de țevi al rețelei este $n_o = a^2$, unde a este numărul țevelor de pe o latură.

Rețeaua de cercuri concentrice (fig. 6.11, d) se utilizează rar la număr mare de țevi, datorită unei compactități insuficiente a fasciculului tubular și trasării mai dificile a plăcii tubulare.

Amplasarea țevelor în placa tubulară ținând seama de direcția și sensul curgerii fluidului se face conform figurii 6.8. Amplasarea în triunghiuri (fig. 6.12, a și b) se utilizează când sunt necesare suprafețe de transfer termic mari și nu se folosesc dacă este necesară curățarea mecanică din exterior a fasciculului de țevi. Amplasarea în pătrate (fig. 6.12, c și d) se utilizează în cazul curățării mecanice a fasciculului. Pasul minim dintre țevi se ia $1,25 d_e$ pentru rețeaua de triunghiuri și $(d_e + 6)$ mm pentru rețeaua de pătrate.

Diametrul găurilor pentru țevi, în placa tubulară, este mai mare decât diametrul exterior al țevei:

$$d_o = (1,01 \dots 1,02)d_e \quad (6.6)$$

Îmbinarea dintre țevi și placa tubulară. Îmbinarea dintre țevi și placa tubulară se poate face nedemontabilă sau demontabilă. Îmbinarea trebuie să fie etanșă și să reziste la forțele axiale determinate de presiune și temperatură.

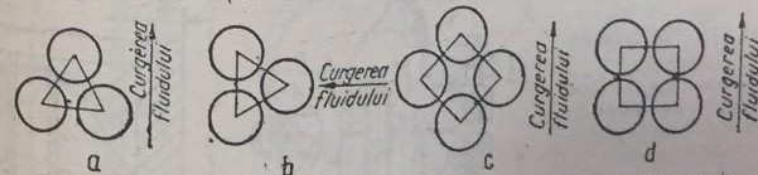


Fig. 6.12. Amplasarea țevelor în funcție de direcția și scopul curgerii pentru rețea de a și b - triunghiuri și d - pătrate

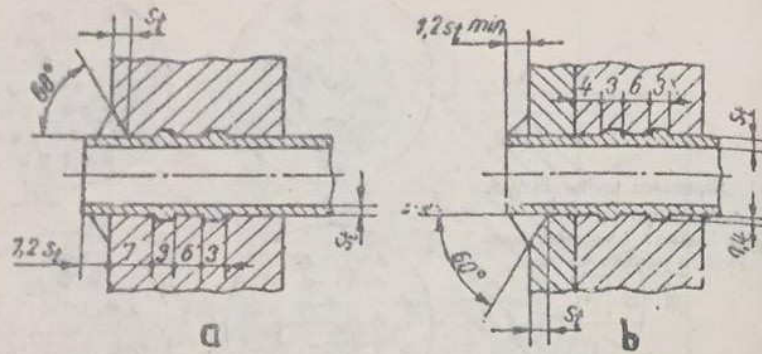


Fig. 6.13. Teavă mandrinată într-o placă tubulară și sudată după mandrinare.
a - placă tubulară din oțel carbon; *b* - placă tubulară din oțel carbon placat.

Asamblările nedemontabile (fig. 6.13) se realizează prin mandrinare, deformare hidraulică, sudare, explozie, lipire și încliere. Înainte de îmbinare, capetele țevilor se curăță la exterior pe o lungime de cel puțin două ori grosimea plăcii tubulare.

Asamblările demontabile (fig. 6.14) permit dilatarea liberă a țevilor dar nu preiau sarcini axiale. Aceste asamblări se utilizează în cazul țevilor lungi sau atunci când se prevede demontarea frecventă a țevilor, pentru curățare sau înlocuire, și în cazul țevilor din fontă.

Asamblarea dintre placa tubulară și manta. Plăcile tubulare pot fi simple (fig. 6.15) sau pot servi ca flanșe (fig. 6.16); acestea din urmă fiind mai puternic solicitate sunt mai groase.

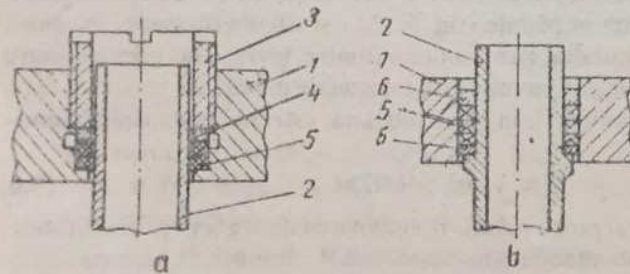


Fig. 6.14. Asamblări demontabile:

a - cu pușcă tubulară; *b* - cu val din plumb ștemut. 1 - placă tubulară; 2 - teavă; 3 - pușcă tubulară; 7 - rondelă metalică; 5 - anghitură (de exemplu rondelă din cauciuc moale); 6 - mel din plumb.

Fig. 6.15. Plăci tubulare simple:

a - prinsă între flanșe; *b* - sudată de manta; 1 - placă tubulară; 2 - teavă; 3, 4 - flanșe; 5 - garnitură de etanșare; 6 - manta.

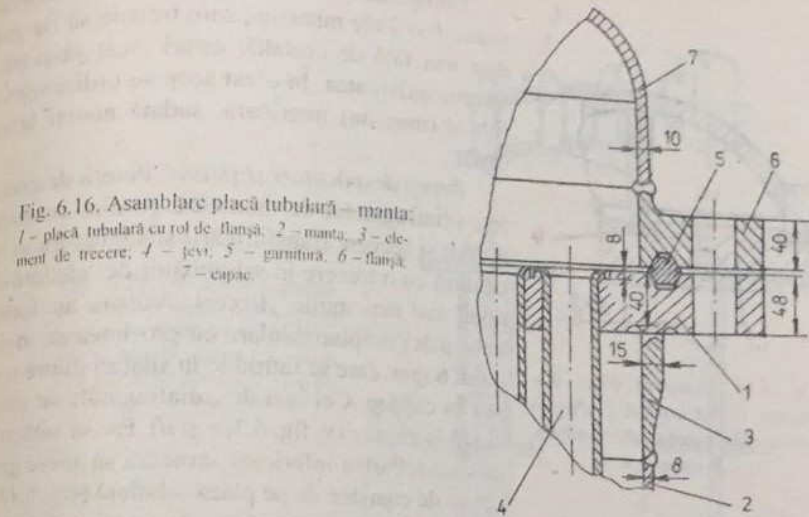
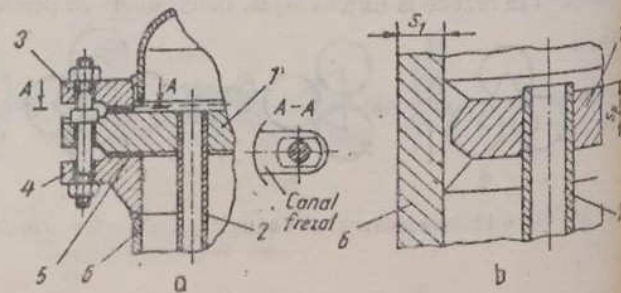


Fig. 6.16. Asamblare placă tubulară - manta:
 1 - placă tubulară cu rol de flanșă; 2 - manta; 3 - element de trecere; 4 - țevi; 5 - garnitură; 6 - flanșă; 7 - capac.

În cazul unor plăci tubulare greu solicitate, care se îmbină cu mantale relativ subțiri se recurge la elemente intermediare care asigură trecerea între cele două elemente cu diferite rigidități (v. fig. 6.15).

Compensatoare de dilatare termică. Compensatoarele de dilatare termică sunt elemente elastice introduse pe manta (v. fig. 6.3, b). De obicei se utilizează compensatoare lenticulare (fig. 6.13, a); la presiuni de peste 2 MPa și diametre nominale de peste 1 000 mm se recurge la compensatorul toroidal (fig. 6.13, b).

Compensatorul lenticular, din tablă subțire, se obține fie dintr-o bucată, fie din două jumătăți ambutasate la cald și sudate circumferențial, fie din porțiuni lenticulare ștanțate care se sudează.

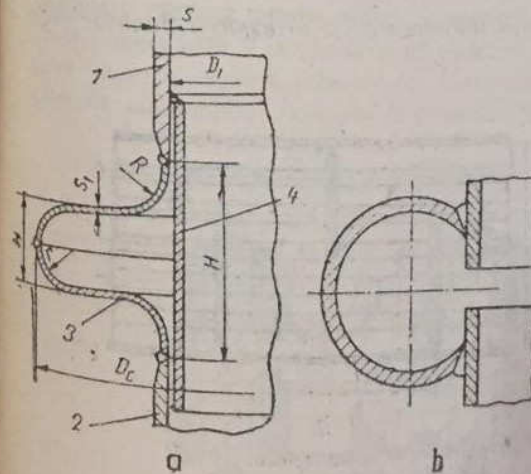


Fig. 6.17. Compensatoare elastice:
a - lenticulare; *b* - toroidale.

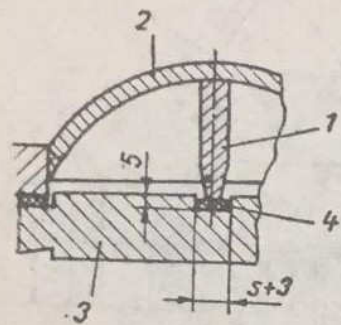


Fig. 6.18. Etanșarea dintre diafragma 1, din capacul 2 și placa tubulară 3 în care se află garnitura de etanșare 4.

În spațiul intertubular se utilizează *șicane transversale*, pentru dirijarea curgerii fluidului, sub forma unor segmente (fig. 6.19) sau a unor discuri și inele. Acestea măresc viteza agentului termic și-i lungesc traseul. Diametrul orificiilor pentru trecerea țevilor $d_t = (1,02 \dots 1,05) \cdot d_c$ (fig. 6.19, a). Șicanele transversale pot limita amplitudinea vibrației țevii.

Grosimea șicanei (minimum 3 mm) depinde de diametrul aparatului și de distanța L dintre două șicane, care depinde de viteza necesară pentru agentul termic. De obicei se ia $L = (0,2 \dots 1,0)D$, însă minimum 50 mm. Șicanele transversale se dispun egal distanțate.

Șicanele se montează pe tiranți prevăzuți cu țevi distanțiere (fig. 6.20, b). Șicanele se introduc, la schimbătoarele de căldură în construcție rigidă înainte de sudarea celei de-a doua plăci.

Elementele constructive pentru introducerea și evacuarea fluidelor (vezi cap. Recipiente sub presiune).

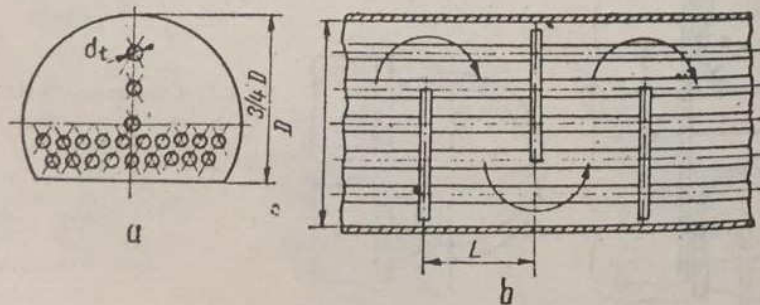


Fig. 6.19. Șicane în formă de segment: a - șicană; b - dispunerea șicanelor în aparat.

Compensatorul 3 se sudează între două tronsoane 1 și 2 ale mantalei, care trebuie să fie ghidate una față de cealaltă, astfel încât să-și păstreze coaxialitatea. În acest scop se utilizează virola 4 (manșon) interioară, sudată numai la un capăt.

Pereți despărțitori și șicane. Pereții despărțitori (diafragmele) se montează paralel cu axele țevilor și servesc transformării schimbătorului de căldură cu o trecere în schimbător de căldură cu două sau mai multe treceri. Aceștia au forma unor plăci dreptunghiulare cu grosimea de minimum 6 mm, care se introduc în spațiul dintre țevi sau în capace. Cel mai des, diafragmele se utilizează în capace (v. fig. 6.3, c și d). Ele se sudează pe capac. Partea inferioară urmează să apese garnitura de etanșare de pe placa tubulară (fig. 6.18).

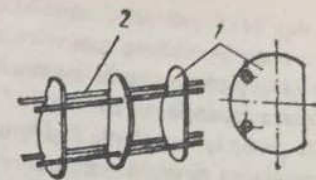
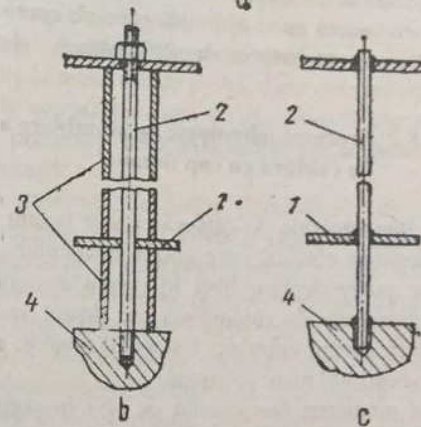


Fig. 6.20. Montarea șicanelor: a - vedere, b - element de distanțare din țevă 2 și țevi distanțiere 3; c - țevă, 2 pe care se sudează șicanele 1; 1 - șicană; 2 - element de distanțare; 3 - țevi distanțiere; 4 - placă tubulară.



6.8. ASAMBLAREA GENERALĂ A SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ

6.8.1. Procesul tehnologic de asamblare a schimbătorului cu plăci tubulare rigide

Pentru schimbătorul de căldură din figura 6.21 procesul tehnologic este următorul: execuția tuturor pieselor componente și a subansamblurilor; asamblarea suporturilor 9 la corpurile tubulare; montarea capacelor de probă (flanșelor oarbe) la corpurile tubulare 1 și 2; asamblate în baterie; umplerea cu apă a spațiului intertubular; ridicarea la presiunea de probă; ținerea la această pre-

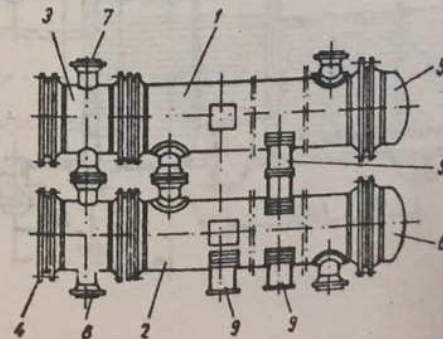


Fig. 6.21.

siune timp de 5 minute; (controlul îmbinării țevilor cu plăcile tubulare); evacuarea apei; asamblarea camerelor de distribuție 3 și 4, cu ajutorul prezoanelor și a piulițelor, prin intermediul garniturii la corpurile tubulare 1 și 2; asamblarea capacelor de distribuție 5 și 6 la corpurile tubulare; montarea capacelor de probă la racordurile 7 și 8; umplerea cu apă a spațiului tubular; ridicarea la presiunea de probă; menținerea la presiunea de probă timp de 5 minute, verificându-se în special zonele de îmbinare demontabilă și cordoanele de sudură; evacuarea apei; ajustajul general; controlul final tehnic de calitate. Urmează vopsirea bateriei de schimbătoare, ambalarea și expedierea.

6.8.2. Procesul tehnologic de asamblare a schimbătoarelor de căldură cu cap flotant

Schimbătoarele de căldură cu cap flotant sunt caracterizate prin existența unei legături elastice între corpul aparatului și plăcile tubulare. Fasciculul de țevi se poate deplasa liber în corpul aparatului în cazul dilatărilor termice. Schimbătoarele de căldură cu cap flotant se compun din următoarele subansambluri: corpul cilindric, fasciculul tubular, capacul flotant, camera de distribuție și capacul mare din spate.

La montarea fasciculului de țevi în corpul schimbătorului, trebuie să se respecte următoarele condiții tehnice:

- fasciculele de țevi trebuie să pătrundă în interiorul corpului tubular;
- la strângerea prezoanelor plăcilor tubulare, fasciculul nu trebuie să se sprijine pe peretele corpului, ci să se rezeme numai pe patine sau pe piese speciale.

În figura 6.22 este reprezentat un schimbător de căldură cu cap flotant complet asamblat. După execuția fasciculului tubular 2, corpul 1 al schimbătorului de căldură se supune unei revizii interioare și apoi, cu ajutorul unui troliu, se introduce fasciculul tubular în corp. Înainte de introducerea în corp se

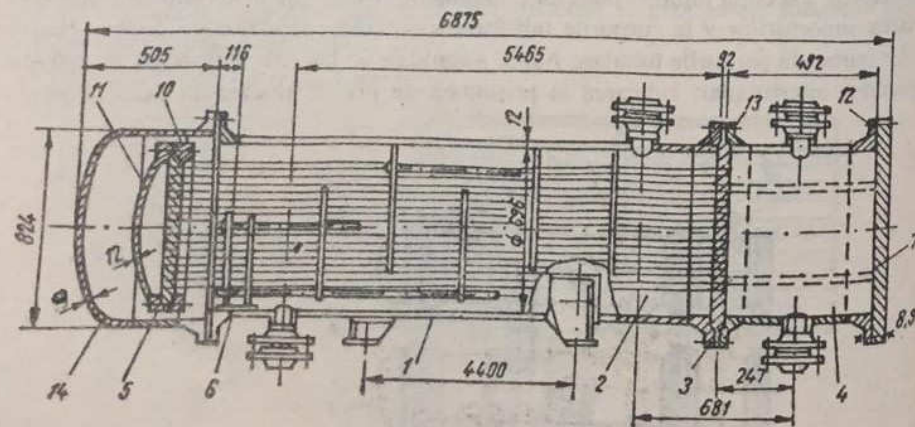


Fig. 6.22

montează garnitura 3 între placa tubulară fixă și flanșa corpului. Pentru a se reduce forțele de frecare, corpul schimbătorului se unge cu vaselină și se caută ca fasciculul să se sprijine numai pe role și patine. Urmează asamblarea camerei de distribuție 4, montându-se garnitura 5, precum și o flanșă specială ce face legătura etanșă între placa tubulară 5, mobilă, și flanșa specială a capacului (S.D.V.). După strângerea acestora cu prezoanele și piulițele respective se montează o flanșă oarbă (blindată) la racordul inferior al corpului și se umple cu apă spațiul intertubular prin racordul superior. După umplerea cu apă se montează manometrul de probă și conducta de legătură la pompa pneumatică. Spațiul intertubular se lasă timp de 5 minute la presiunea de probă, după care presiunea se reduce la presiunea de regim; la această presiune se examinează etanșeitatea țevilor la ambele plăci tubulare, precum și cusăturile sudate ale corpului. Apoi se examinează prin ciocănire cusăturile sudate.

Ridicarea presiunii până la presiunea de probă și reducerea ei până la presiunea de regim trebuie să se execute încet și uniform. După verificarea prin proba întâi se pregătește schimbătorul de căldură pentru proba a doua. Astfel, se montează capacul plan 7 la camera de distribuție, prin intermediul garniturii și al prezoanelor cu piuliță 8 și 9. După demontarea flanșei speciale de la capacul flotant se montează segmentii plăcii tubulare medii, inelul 10, garnitura metalică și capacul flotant 11 tot prin intermediul prezoanelor și al piulițelor. Apoi se blindează racordul inferior al camerei de distribuție, procedându-se la umplerea cu apă a camerei de distribuție, a spațiului tubular și a capacului flotant. Procedând ca și la proba întâi, se ridică presiunea la valoarea presiunii de probă și după un timp de 5 minute se scade lent până la presiunea de lucru. Apoi se examinează asamblarea capacului plat cu camera de distribuție, cusăturile de sudură ale virolei camerei de distribuție cu flanșele 12 și 13, asamblarea capacului flotant cu placa tubulară mobilă precum și îmbinările fundului de flanșă capacului mobil și racordurile camerei de distribuție. După reușita probei a doua (de etanșare) se assemblează capacul din spate, montându-se și garnitura.

După strângerea prezoanelor și a piulițelor capacului 14, se umple cu apă spațiul intertubular și se efectuează a treia probă hidraulică, verificându-se îmbinarea prin sudare a fundului cu flanșa capacului din spate, precum și asamblarea capacului cu corpul schimbătorului de căldură. După reușita probei a treia, se golește corpul de apă și se usucă în interior cu aer comprimat.

7.

AGREGATE CU TAMBUR ROTATIV

7.1. ROL FUNCȚIONAL, TIPURI CONSTRUCTIVE, DESCRIERE

Pentru efectuarea unor operații tehnologice, sau fizice, în industriile de proces, se utilizează agregatele cu tambur rotativ.

Agregatele cu tambur rotativ, asigură desfășurarea proceselor în mod continuu, permițând totodată realizarea de capacități mari de prelucrare complet mecanizate. În interiorul agregatului, procesul are loc în timp ce materialul se deplasează în tambur, de la capătul de alimentare spre cel de evacuare. În același timp, materialul granular se amestecă. Astfel, cuptoarele rotative se utilizează pentru obținerea oxidului de titan (TiO_2), la fabricarea varului ars (CaO), precum și la obținerea aluminei (Al_2O_3), efectuând în acest scop operația de uscare urmată de calcinare. Aceste agregate se montează, în general, înclinat. Agregatele cu tambur rotativ se utilizează pentru realizarea de operații chimice și fizice.

În industria constructoare de mașini grele din țara noastră se fabrică linii de ciment complete, executate la un înalt nivel tehnic calitativ, destinate atât nevoilor interne cât și exportului, făcându-le tot mai competitive pe piața internațională.

În timpul lucrului, temperatura maximă a gazelor de ardere ajunge, în interiorul tamburului, până la $1600^\circ C$, în cazul operațiilor termochimice. Aceste temperaturi scad continuu, de la capătul cald (inferior) spre capătul rece (superior).

Agregatele cu tambur rotativ, după modul de utilizare, pot avea rolul de: uscătoare, răcitoare sau cristalizoare cu tambur rotativ.

Înclinarea tamburului față de orizontală variază între $1 \dots 3^\circ$ la agregatele lungi și poate atinge 6° la cele scurte; turația tamburului se alege în funcție de scopul urmărit.

Fabricile de ciment de la Medgidia și Bicăz sunt echipate cu linii tehnologice complete destinate fabricării cimentului și cu cuptoare rotative a căror lungime atinge 90 m. În prezent se construiesc tambure rotative cu diametrul de 4–5 m și lungimea de 180 m.

Agregatele cu tambur rotativ (fig.7.1) se compun din tamburul de formă cilindrică 1 (partea activă), grupul de sprijin 2, grupul de acționare 3.

Printr-o mișcare continuă a materialului se asigură contactul intim permanent al suprafețelor unor particule mereu reînnoite cu purtătorul de căldură.

7.2. SUBANSAMBLURILE AGREGATELOR CU TAMBUR ROTATIV

7.2.1. Tambure rotative

Tamburele rotative sunt subansambluri de formă cilindrică având rolul de a menține și deplasa în timp materialul supus operațiilor termochimice sau fizice.

Forma constructivă a tamburelor rotative este cea cilindrică de diametru constant pe toată lungimea (v.fig.7.1.) mai rar utilizându-se și tambure cu diametre mărite pe anumite porțiuni, care să permită amenajarea unor dispozitive anexă interioare, fără a micșora în acest mod secțiunea liberă a tamburului (fig.7.2). Dimensiunile principale ale tamburelor rotative cu destinație diferită, având diametrul cuprins între 600 și 4000 m, sunt date în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1.

Agregate cu tambur rotativ. Dimensiuni principale

Diametrul exterior al tamburului D_e , mm	Grosimea plăcii tamburului s , mm	Distanța dintre reazeme l , m	Diametrul exterior al tamburului D_e , mm	Grosimea plăcii tamburului s , mm	Distanța dintre reazeme l , mm
600	5–6	2,2–4,8	2400	12–22	6,0–13
800	5–6	2,2–5,2	2800	16–26	6,0–13
1000	5–10	2,4–9,4	3200	16–28	7,5–18
1200	5–12	2,4–9,4	3600	16–30	8,5–20
1600	6–12	3,5–10,6	4000	18–32	8,5–25
2000	8–14	4,8–13			

Tamburele rotative se execută din tablă de oțel carbon, atunci când agresivitatea materialelor care se prelucurează nu impune utilizarea oțelurilor aliate. În cazul agregatelor ce lucrează la temperaturi înalte se utilizează oțeluri de tip OLK. Tamburele uscătoare rotative pentru polimerii termoplastici se execută din oțel anticoroșiv, înalt aliat. Învelișul cilindric al tamburelor se execută în construcție sudată din virole așezate cap la cap, asamblate prin sudare automată sub strat de flux pe ambele părți pentru tablele groase și pe o singură parte cu

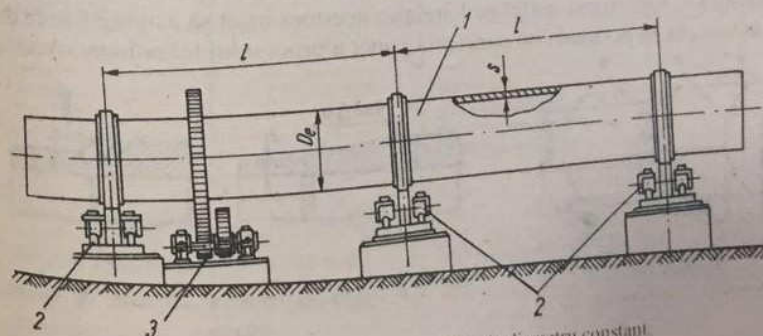


Fig. 7.1. Agregat cu tambur rotativ de diametru constant.

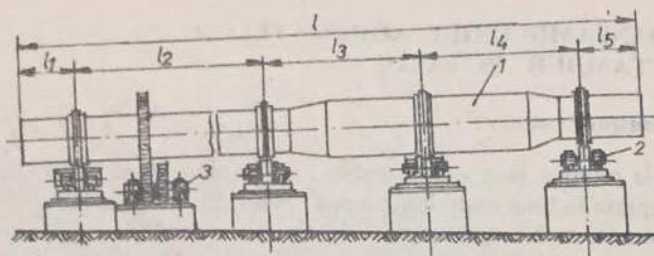


Fig. 7.2. Agregat cu tambur rotativ cu porțiune lărgită.

completarea la rădăcină pentru tablele subțiri (cu grosimi până la 20 mm), în ceea ce privește alcătuirea virolelor și asamblarea învelișului cilindric al tamburului trebuie avut în vedere ca:

- sudurile longitudinale să se afle în plane diametrice, iar cele inelare, în plane normale la axa geometrică a cilindrului;
- virola să fie alcătuită din table de oțel de cel puțin 800 mm lățime; tabla care alcătuiește virola terminală trebuie să aibă lungimea de cel puțin 400 mm (fig. 7.3);
- decalajul dintre cordoanele longitudinale consecutive să fie de minim 100 mm. Pentru virolele adiacente alăturate având grosimi diferite este necesar ca îmbinarea să se realizeze cu trecere, lină prin teșirea virolei mai groase (fig. 7.4, a), iar la diferențe mici de grosime (până la 4 mm), îmbinarea se realizează fără prelucrarea virolei mai groase, trecerea lină asigurându-se doar prin cordonul de sudură (fig. 7.4, b).

În cazul tamburului rotativ a cărui lungime depășește posibilitățile de transport pe calea ferată, corpul cilindric va fi transportat în tronsoane, urmând a se asambla pe șantierul de montaj. În cazul în care diametrul tamburului depășește gabaritul căilor ferate, se recurge fie la transportul rutier al tronsoanelor, efectuat pe remorci speciale joase pentru piese de gabarit mare, fie la transportul elementelor de virole. În acest caz, virolele se pregătesc în atelierele uzinei constructoare, unde se execută trasărea, debitarea, prelucrarea marginilor conform indicațiilor din desen, roluirea și eventual unele asamblări parțiale, urmând ca asamblarea definitivă a virolelor și a tronsoanelor să se facă pe șantier la locul de montaj. Tronsoanele de diametre diferite ale tamburelor cilindrice se realizează prin virole tronconice. Tamburele se prevăd cu un număr de guri pentru luarea probelor, repartizate astfel pe lungimea acestora încât să asigure luarea de probe, îndeosebi în perioada de punere la punct a procesului tehnologic. Aceste

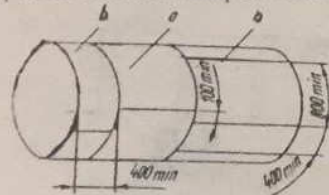


Fig. 7.3. Tronson de capăt:
a - virola normală; b - virola de capăt scurtă

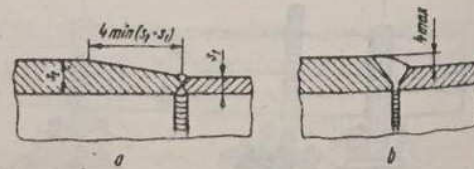


Fig. 7.4. Îmbinarea virolelor adiacente de grosimi diferite.

a - cu teșirea virolei mai groase; b - fără teșirea virolei mai groase

guri (fig. 7.5) se construiesc astfel încât să poată fi manevrate rapid.

În dreptul bandajelor de susținere a tamburului și a coroanei dințate de acționare, unde, pe lângă momente încovoietoare, acționează și forțe tăietoare, se prevăd virole cu 60 - 100% mai groase decât cele curente și, la nevoie, se mai aplică inele de rigidizare bine ajustate pe virolele în contact. De asemenea, se utilizează virole cu grosime sporită pentru zonele celor mai calde ale unor cup-toare.

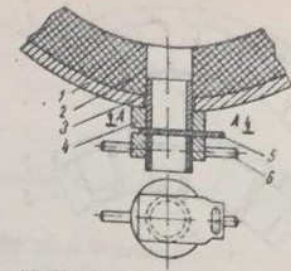


Fig. 7.5. Gură pentru luare de probe:
1 - manșă; 2 - înzidire; 3 - țevă de oțel; 4 - piesă de fixare; 5 - rezistor; 6 - prafuri cu manșă

- protejării tablei împotriva captușeselor în vederea:
- protejării tablei împotriva temperaturilor înalte; temperatura tablei învelișului tamburului nu trebuie să depășească, în condiții de exploatare, 300°C;
- protejării tablei corpului cilindric al tamburului împotriva coroziunii datorate materialelor sau gazelor;
- asigurării termoizolației necesare spațiului de lucru pe timpul exploatarei.

Căptușeala se execută fie printr-o înzidire propriu-zisă, din cărămăzi refractare de grosime 110 - 200 mm, fie o căptușire cu beton refractar. Între înzidire și corpul de tablă al tamburului se așază un strat de cărămizi termoizolatoare de aproximativ 10 mm grosime, care are drept scop micșorarea temperaturii tablei tamburului, mărind în schimb temperatura de lucru a înzidirii din interiorul tamburului.

Uneori înzidirea se protejează împotriva uzurii printr-un strat de tencuială refractară care poate fi refăcut relativ ușor.

În tabelul 7.2 sunt indicate cele mai utilizate tipuri de materiale refractare, menționându-se și refractaritatea corepunzătoare temperaturilor de lucru. Pentru compensarea dilatației înzidirii se recurge la soluțiile constructive indicate în

Tabelul 7.2

Materiale refractare. Tipuri. Refractaritate			
Denumirea materialului	Refractaritatea C	Denumirea materialului	Refractaritatea C
Șamotă	1 580-1 750	Șpeli (pe bază de Al ₂ O ₃ -MgO-27%)	1 920
Cu conținut ridicat de alumina (Al ₂ O ₃)	1 770-1 850	Al ₂ O ₃ -65,5%	1 920
Multice (cuarț topit)	1 850	Materiale dolomitice	1 920
Coridon (Al ₂ O ₃)	1 850-1 920	Matriale cromodolomitice	1 950
Dinas (cuarț)	1 850-2 200	Carborund (SiC)	1 900-2 230 (descompunere)
Materiale magneziene	1 850-2 200		
Materiale forsteritice	1 780-1 850	Materiale grafit-șamotă	1 900
Materiale cromomagneziene	1 850-2 060	Materiale grele pe bază de zirconiu	2 400-2 500

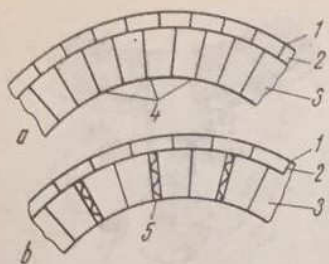


Fig. 7.6. Compensarea dilatației înzidirii:
1 - manta, 2 - cărămizi termoizolatoare, 3 - cărămizi refractare, 4 - cartoane de 2-3 mm grosime, 5 - lamele ondulate de oțel

7.2.2. Elemente de calcul

În timpul rotirii tamburului granulele de material se deplasează de la capătul de alimentare spre capătul de evacuare, descriind traiectorii spațiale.

Mișcarea granulelor depinde de: diametrul și turația tamburului, coeficientul de umplere a secțiunii, coeficientul de frecare dintre material și cilindru, coeficientul frecării interioare a materialului, luând în considerație și unghiul de taluz natural, înclinarea tamburului față de orizontală. În general, în cazul încălzirii, se urmărește realizarea unei suprafețe de contact dintre material și gazele de încălzire cât mai mare, asigurând totodată un timp de retenție maxim a materialului în tambur pentru ca reacția chimică să se poată desfășura complet, sau pentru ca gradul de uscare impus să poată fi atins.

Practic, grăuntele de material notat cu A (fig. 7.7, *a*) se mișcă solidar cu tamburul până la punctul de nivel maxim B_1 , după care alunecă după o linie de cea mai mare pantă în punctul C_1 , fiind din nou ridicat solidar cu tamburul până în punctul B_2 și așa mai departe. Distanțele AB_1 , C_1B_2 , C_2B_3 etc. sunt determinate de valoarea coeficientului de frecare de repaus a materialului, în timp ce înălțimea punctelor C_1 , C_2 , C_3 depinde de coeficientul de frecare dinamic.

Se consideră că deplasarea punctului A are loc după o elicoidală, de înclinare $(90 - \alpha)$ față de generatoarea tamburului. S-a notat cu α înclinarea

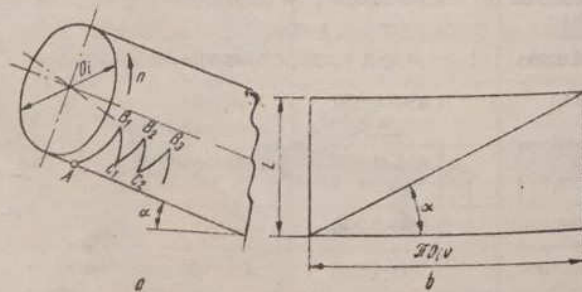


Fig. 7.7. Studiul mișcării grăuntelui în tamburul de rotație.

figura 7.6, folosind cartoane de 2 - 3 mm grosime sau lamele ondulate de oțel.

La cuptoarele lungi, întreaga înzidire se împarte în câteva porțiuni, refractaritatea cărămizilor din fiecare porțiune adaptându-se temperaturii din zona respectivă.

Înzidirea se execută din cărămizi fasonate, în special din cărămizi în formă de pană. Înzidirea din cărămizi refractare se așază în panouri înelare. Ea trebuie astfel împănată încât să adere cât mai bine la pereții tamburului.

tamburului față de orizontală. Lungimea L a tamburului, în metri, este parcursă de grăunte în i rotații ale acestuia, cu viteza medie axială dată de relația:

$$V_m = \frac{L}{t_r}$$

unde:

$t_r = \frac{V}{n}$ este timpul de retenție al granulei în tambur, în minute;

n - turația tamburului, în rot/min.

Viteza periferică a tamburului, măsurată pe suprafața interioară, este:

$$V_p = \pi \cdot D_i \cdot n$$

în care:

D_i este diametrul interior al tamburului, în m.

Viteza medie V_m este dată de relația:

$$V_m = V_p \cdot \text{tg } \alpha = \pi \cdot D_i \cdot n \cdot \text{tg } \alpha \text{ (m/min)}$$

iar timpul de retenție:

$$t_r = \frac{L}{V_m} = \frac{L}{V_p \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{L}{\pi \cdot D_i \cdot n \cdot \text{tg } \alpha} = 0,318 \frac{L}{D_i \cdot n \cdot \text{tg } \alpha}$$

Din cercetările experimentale a rezultat că, datorită unor mișcări oscilatorii ale granulelor, timpul de retenție este în realitate mai mare, adică:

$$t_r = 0,5 \frac{L}{n \cdot D_i \cdot \text{tg } \alpha} \text{ (min)}$$

Având în vedere că tamburul funcționează întotdeauna cu umplere parțială, pentru a asigura astfel o suprafață de contact cât mai mare între material și gaze, realizând totodată și o amestecare intensă a materialului, rezultă relația de calcul a debitului pentru tamburul nedet:

$$A_m = K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2, \text{ unde:}$$

A_m este aria secțiunii materialului, perpendiculară pe axa tamburului;

D_i - diametrul interior al tamburului;

K - coeficientul de umplere (subunitar).

Valorile lui K sunt de ordinul 0,1 și chiar mai mic (tab. 7.3); ele depind de unghiul la centru 2δ al materialului (fig. 7.8).

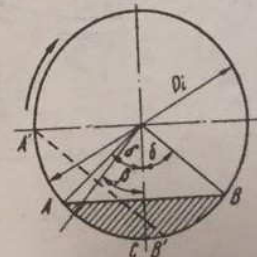
Tab. 7.3

Valori ale coeficientului de umplere, funcție de unghiul la centru 2δ (fig. 7.8)

40	41	42	43	44	45	46	47
6,5	7,0	7,5	8,0	8,6	9,1	9,6	10,2

Fig. 7.8. Studiul mișcării masei granulare în tamburul în rotație:

AB - suprafața materialului când tamburul se află în repaus, $A'B'$ - suprafața materialului când tamburul se rotește



Debitul volumetric al tamburului și deci al agregatului va fi:

$$Q_v = A_m \cdot V_m \text{ sau, în expresie masică: } Q_m = \rho_s \cdot Q_v$$

în care: ρ_s este densitatea în vrac sau în grămadă a materialului.

Valorile debitului volumetric, Q_v și a celui masic Q_m reprezintă, de fapt, debitul agregatului considerat ca mijloc de transport.

Cu privire la calculul de rezistență al tamburului se fac următoarele precizări: la calculul de dimensionare se va ține seama în mod obligatoriu de:

- tensiunile termice;
- solicitările tamburului la încovoiere întrucât corpul rotitor lucrează ca o grindă sprijinită pe două sau mai multe reazeme;
- solicitările la forfecare datorită încărcărilor transversale în punctele de rezemare;
- solicitările la răsucire datorită momentului de acționare.

Trebuie totuși să se țină seama că atât tensiunile de încovoiere cât și cele datorate forțelor transversale, variază în timp în diferitele puncte ale tamburului întrucât acesta este supus, în timpul funcționării, solicitărilor la oboseală.

De asemenea, ținând seama de exigențele actuale privind rigiditatea tamburului în timpul funcționării se recomandă ca ovalitatea: $D_{max} - D_{min}$, să nu depășească valoarea 1/3 000 din diametru, iar săgeata datorită încovoierii, pentru tamburul considerat ca grindă, 1/5 000 din distanța dintre reazeme. Valorile D_{max} , D_{min} , reprezintă diametrele maxim și minim ale suprafeței mediane deformatate, adică axele mare și mică ale elipsei.

7.3. GRUPUL DE REZEMARE

Pentru rezemarea tamburelor rotative se utilizează *grupurile de rezemare* în compunerea cărora intră, ca organe caracteristice principale, bandajele și rolele de rezemare. În figura 7.9 este reprezentat un *grup de rezemare radial-axial*.

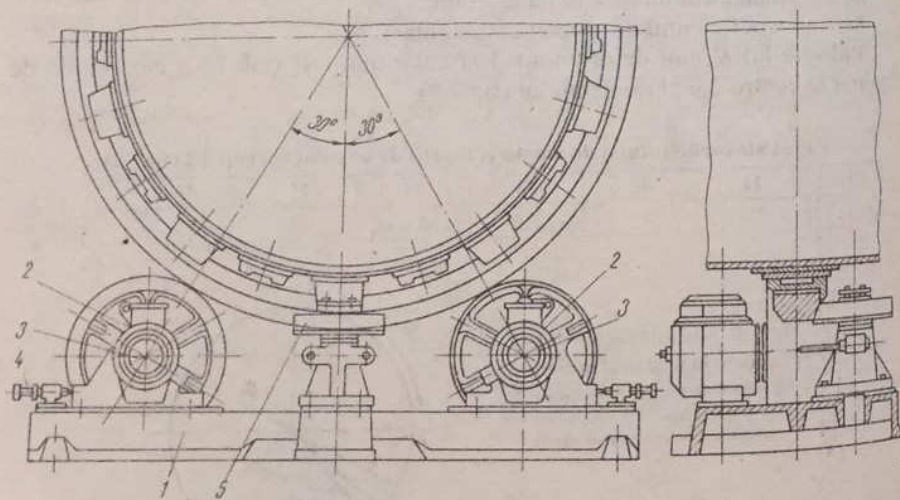
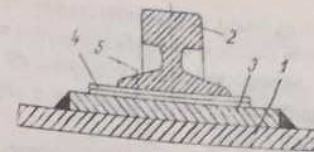


Fig. 7.9. Grup de rezemare radial-axial.

Fig. 7.10. Bandaj fixat pe cilindru.
1 - cilindru, 2 - bandaj, 3 - inel de rigidizare, 4 - plăcuțe de egalizare, 5 - șuruburi sau nituri uniformi distribuite pe circumferință.



prevăzută cu *role radiale* având drept scop rezemarea și preluarea întregii greutate a tamburului de oțel, încărcat cu material în timpul funcționării, precum și *role axiale* (de gardă) care au rolul de a prelua temporar sarcini axiale, relativ mici și de a semnaliza că tamburul are tendința de a se deplasa în sens axial, în care caz urmează să se ia măsuri de reglaj corespunzătoare. Cele mai importante elemente ale grupului de sprijin sunt postamentul 1, rolele de sprijin 2, lagărele cu alunecare 3 ale rolelor, șuruburile de blocare 4, rolele de gardă 5.

a. **Bandaje și saboți.** Bandajele se pot clasifica după îmbinarea lor cu tamburul în:

- bandaje fixate pe tambur;
- bandaje montate liber pe saboți sau cu contact continuu.

Bandajele fixate pe tambur (fig. 7.10) se utilizează la transmiterea unor sarcini mari. Se execută din profile laminate de tipul șinelor joase, din oțeluri carbon, fiind aproape centrate pe tambur cu ajutorul unor plăcuțe de egalizare de 0,1 - 0,2 mm grosime, suprapuse la nevoie. Stabilitatea corpului cilindric al tamburului în dreptul bandajului se asigură prin aplicarea unui inel din tablă de oțel (de grosime egală cu cea a tablei cilindricului), montat strâns și sudat.

Bandajele montate liber pe saboți (fig. 7.11) se utilizează pe scară largă în construcția agregatelor cu tambur rotativ. Saboții au rolul de a transmite încărcarea, de la tambur la bandaj, în direcție radială, asigurând totodată și transmiterea sarcinilor în direcție axială.

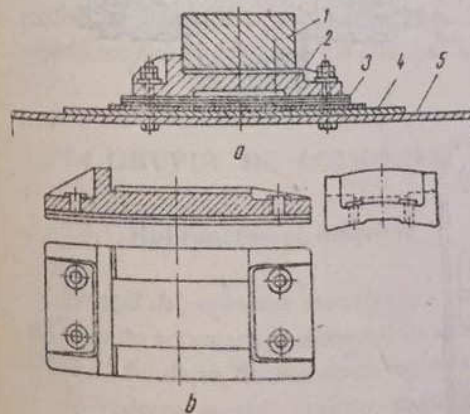


Fig. 7.11. Bandaj montat liber pe saboți.
a - ansamblu; b - sabot; 1 - bandaj; 2 - sabot; 3 - plăcuțe de egalizare; 4 - inel de rigidizare; 5 - cilindru.

Saboții se montează astfel încât umerii lor să se aflu succesiv în poziție dreapta-stânga față de bandaj.

Este absolut necesar ca între umerii saboților și fața corespunzătoare a bandajului să existe un joc uniform, de maximum 5 mm, de-a lungul circumferinței.

Pentru a se asigura o încărcare uniformă a umerilor saboților așezați de aceeași parte a bandajului, ei trebuie să se aflu riguros în același plan, perpendicular pe axa tamburului. Încărcarea neuniformă a umerilor saboților va duce la ruperea acestora.

tora în cazul deplasărilor axiale ale tamburului. Saboții pot fi fixați direct de corpul cilindric al tamburului și prin sudare.

Saboții și bandajele se execută din oțel turnat (OT 45 A sau OT 55 A), asigurându-se astfel o duritate a suprafețelor bandajului de 180 – 200 unități Brinell (H.B).

Pentru agregatele mici, ușoare, cu 60 – 70 daN/reazem, bandajele se pot executa și din fontă cenușie.

Saboții se fixează de corpul cilindric al tamburului cu ajutorul șuruburilor, al piulițelor și al șaibelor.

La agregatele mari, grele, se prevăd, în locul rolor de gardă, opritoare fixe, de siguranță.

b. Rolele de reazem. Rola de reazem și lagărele axului rolei formează un grup ce se montează pe placa de fundație. În figura 7.12 se reprezintă o rolă cu lagăre la care jumătățile inferioare ale corpului lagărelor sunt reunite prin turnare pe o placă de bază. Acest tip de lagăr utilizează rulmenți oscilanți, cu role butoiș, răcirea lagărului realizându-se cu apă, care circulă prin canale practice în corpul turnat. Pentru agregatele ce lucrează la temperaturi ridicate se recurge, pe lângă răcirea cu apă a corpului lagărului, și la răcirea cu ulei, menținând în acest mod temperatura scăzută a întregului grup de sprijin pe timpul lucrului. În sistem este prevăzut și un răcitor prin care uleiul recirculat trece.

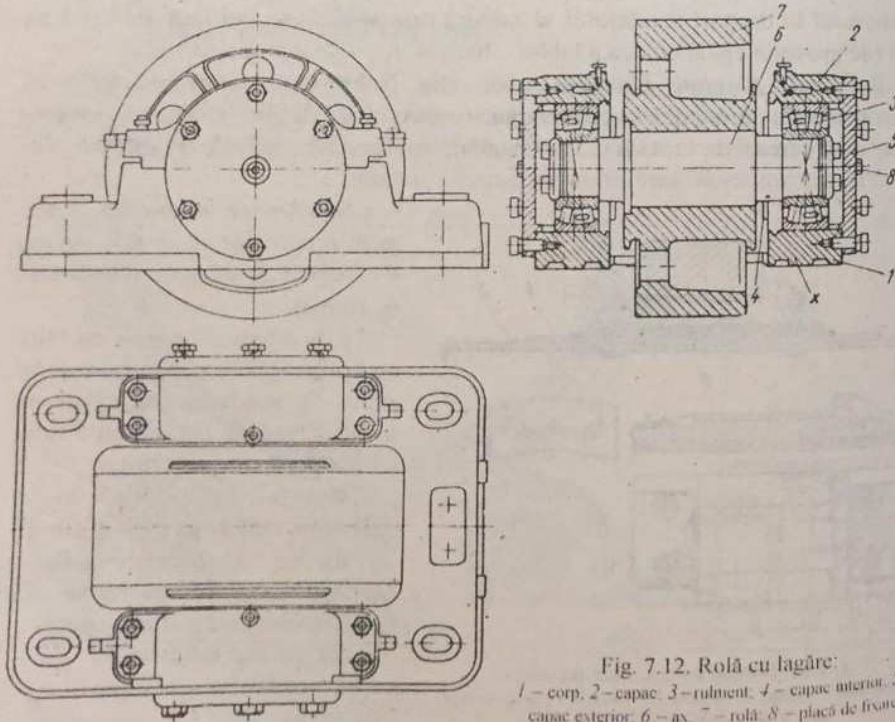


Fig. 7.12. Rolă cu lagăre:
1 – corp; 2 – capac; 3 – rulment; 4 – capac interior; 5 – capac exterior; 6 – ax; 7 – rolă; 8 – placă de fixare

Măsurătorile efectuate în exploatare au arătat că lagărele cu rulmenți unse cu ulei necesită cu 40% mai puțină putere pentru învingerea frecării decât lagărele de alunecare pentru același diametru de fus. Turația rolor este curpînsă între 1 și 10 rot/min.

Cuzineții lagărelor de alunecare se execută din bronz, dar pot fi și din fontă cenușie sau oțel, căptușit cu compoziție sau, la încărcări mai reduse, fontă anti-fricțiune.

c. Rolele de gardă. Rola de gardă (fig. 7.13) se montează pe un suport în construcție turnată și se execută din oțel turnat sau forjat.

Suportul se toarnă din fontă cenușie sau din oțel: Axul rolei se presează în suport.

Se menționează că grupul de reazemare cu role de gardă constituie un punct fix în asamblul agregatului cu tambur rotativ.

De la acest punct fix, spre capătul inferior și spre cel superior, se dezvoltă dilatațiile termice ale tamburului pe toată durata de exploatare. Suportul rolei de gardă se execută înclinat, pentru a permite menținerea secțiunii dreptunghiulare a bandajului.

Amplasarea celorlalte grupuri de reazemare trebuie astfel concepută prin proiectare și realizată la montaj încât să se realizeze coincidența dintre planul median al bandajului și planul median al rolor de reazem, în condiții de exploatare, adică după apariția dilatației termice.

7.4. GRUPUL DE ACȚIONARE

7.4.1. Rol funcțional, descriere

Grupul de acțiune are rolul de a pune în mișcare tamburul rotativ. Întregul grup de acțiune se montează înclinat, paralel cu axa tamburului, pe platforma de fundație, de asemenea înclinată.

În vederea evitării opririlor accidentale ale cuptorului, datorită întreruperii curentului care alimentează motorul principal, este absolut necesar să se prevadă o acțiune auxiliară, alimentată de la o rețea de siguranță, care să intre automat în funcțiune la întreruperea curentului rețelei principale.

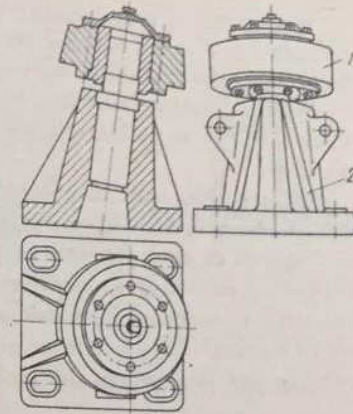


Fig. 7.13. Rolă de gardă cu suport.
1 – rolă de gardă; 2 – suport

În acest mod se poate asigura o turație mult mai mică decât cea de regim, de exemplu 3 ... 4 rot/oră, suficient pentru a menține temperatura constantă în interiorul cuptorului pe perioada de avarie.

Pentru agregatele cu tambur rotativ mai ușoare, care lucrează la temperaturi relativ joase, cum sunt urseătoarele rotative, se poate recurge la acționarea auxiliară.

La cuptoarele mari de clincher, unde puterea necesară acționării atinge 600 kW, se utilizează acționarea dublă (prin două motoare), coroana dințată fiind atacată de două pinioane. Grupul de acționare se compune, în principal, din motorul electric asineron, reductorul de viteză, cuplajul elastic, roțile pentru transmisii prin curele trapezoidale, pinionul de acționare și lagărele de rostogolire cu rulmenți oscilanți. Întregul grup de acționare se montează pe cadrul suport executat în întregime din profile laminate de oțel.

7.4.2. Coroana dințată de acționare

Amplasarea coroanei dințate pe tambur și îmbinarea acesteia cu tamburul constituie problemele de bază ale construcției acționării. Pentru echilibrarea forțelor și a momentului încovoietor, coroana dințată se așază aproximativ central, însă în orice caz lângă bandajul fix în sens axial (prevăzut cu rola de gardă), pentru a se evita astfel încărcarea corpului tamburului cu momente încovoietoare suplimentare, datorate forțelor transversale din angrenaj, eliminând totodată deplasările axiale importante ale coroanei în raport cu pinionul de acționare.

Ținând seama de existența deplasărilor axiale corespunzătoare jocului dintre bandaj și rola de gardă, pinionul se va executa cu 40 – 60 mm mai lat decât coroana dințată. Pentru asigurarea condițiilor de angrenare dintre pinion și coroană impuse la montaj, rolele grupului de rezemare, situate lângă coroană, nu trebuie dezaxate.

Coroana se execută din oțel turnat, cu dinții frezați, fiind asamblată din 2 ... 4 segmente, astfel încât suprafața de separație a segmentelor să cadă în golul dintre doi dinți consecutivi.

Coroanele agregatelor cu tambur rotativ se execută din fontă cenușie, iar pinionul, din oțel de îmbunătățire slab aliat.

Duritatea suprafeței flancurilor dinților pinionului se reglează astfel încât să depășească cu cel mult 20 – 70 HB duritatea flancurilor dinților coroanei.

Prin această măsură, ca și printr-o prelucrare îngrijită a danturii coroanei dințate se asigură prelungirea duratei de funcționare la 10 – 25 ani. Coroana fixată rigid de tambur este indicată atunci când temperatura de lucru a agregatului este apropiată de cea normală.

La agregatele mari, coroanele dințate de acționare sunt prevăzute cu dinți drepecți, modulul danturii ajungând, în acest caz, la $m = 40 - 50$ mm. Numărul de dinți ai pinionului cu dantură necorijată se alege între 18 și 20.

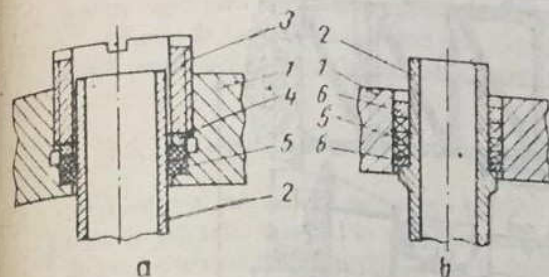


Fig. 7.14. Coroană de acționare fixată pe lamele elastice:

1 – lamele elastice tangențiale, 2 – plăci de fixare ale coroanei, 3 – îmbinare cu bolt de centraj, 4 – set de roți, 5 – pinion

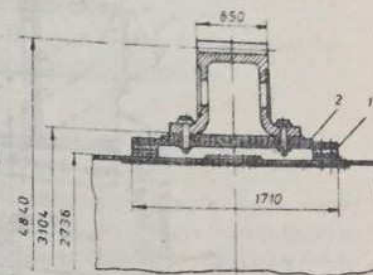


Fig. 7.15. Coroană de acționare cu fixare semirigidă.

1 – suport, 2 – plăci pentru traverse elastice

Fixarea coroanei dințate pe tamburul rotativ poate fi: elastică, realizându-se prin lamele elastice tangențiale (fig. 7.14), semirigidă, cu ajutorul șuruburilor (fig. 7.15), rigidă, utilizându-se niturile sau șuruburile (fig. 7.16).

Îmbinarea prin lamele elastice tangențiale se realizează prin intermediul a 10 – 12 lamele din oțel-arc, de secțiune dreptunghiulară, tangente la corp și nituite de acesta.

Tălpile coroanei se fixează pe lamele cu șuruburi, piulițe și elemente de siguranță (de exemplu, cuie spintecate).

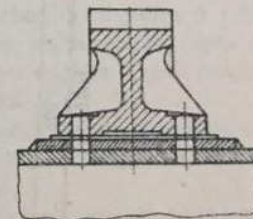


Fig. 7.16. Coroană de acționare cu fixare rigidă.

7.5. CAMERE DE CAPĂT

7.5.1. Rol funcțional, materiale, descriere, proces tehnologic

Capetele tamburului se rotesc, de cele mai multe ori, în câte o cameră fixă: una de alimentare și cealaltă de evacuare (fig. 7.17). Cele două camere de capăt se pot executa din tablă de oțel laminat, rigidizate cu profile de oțel. Camera de alimentare asigură alimentarea cu agentul purtător de căldură (aer cald, Camere de alimentare asigură alimentarea cu agentul purtător lichid sau gazos) și malle gaze calde; introducerea unui arzător cu combustibil material (produsul finit) terial, iar cea de evacuare permite evacuarea materialului (produsul finit) și a gazelor de ardere. În raport cu condițiile de lucru (temperatura gazelor și a materialului), camera de capăt se execută din zidărie, cu căptușeală din cărămidă refractară sau în construcție metalică prevăzută în acest caz cu căptușeli refractare. Camerele de capăt sunt prevăzute, în funcție de scopul propus, cu orificii pentru montarea racordurilor de alimentare și evacuare.

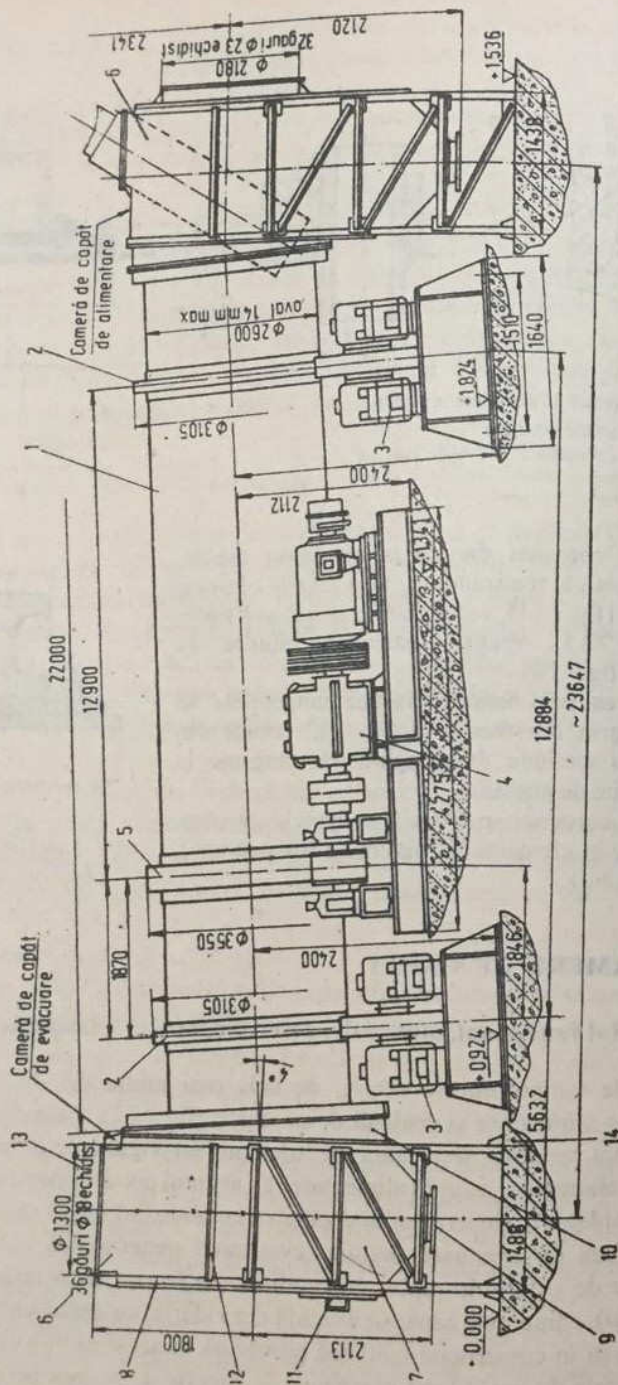


Fig. 7.17. Uscător rotativ:
1 - tambur rotativ; 2 - bandaj; 3 - bandaj; 4 - grup de acționare; 5 - cresson dințat; 6 - camere de capăt

părțile componente ale unei camere de capăt sunt: pereții laterali 7, montanții 8, gura de evacuare 9, racordul de legătură 10, ușa de control 11, elementele de rigidizare 12 și placa superioară 13. Plăcile de bază 14, asamblate prin sudură la capătul inferior al montanților, vor fi prevăzute cu găuri pentru introducerea șuruburilor de fundație.

7.5.2. Etanșarea tamburelor rotative

Pentru a împiedica răspândirea prafului în atmosfera înconjurătoare, aspirația de aer fals, în cazul în care tamburul se află sub depresiune, sau scăpările de gaze - toxice sau utile, după caz - în atmosferă, se recurge la etanșarea capetelor tamburului.

Etanșările de capăt se construiesc în două tipuri principale și anume: etanșări cu contact (deci cu frecare) și etanșări fără contact (cu labirinti). În figura 7.18 este reprezentată etanșarea de capăt cu contact, destinată agregatelor de mărime mijlocie. Inelul 6, în formă de L, este montat liber pe tambur. Etanșarea se realizează între suprafețele de contact ale inelului de protecție 3, aplicat pe tambur, și inelul 6, de asemenea între inelul 6 și inelul 5. Inelul 7 asigură apăsarea inelului 6 pe inelul 5 cu ajutorul șuruburilor cu piulițe 9, prin intermediul arcurilor elicoidale 8. Canalele circulare practicate în piesa 6 asigură și un efect de labirint. Rezultă că inelul 6 se poate deplasa în sens radial, urmărind astfel eventualele bătăi ale capătului tamburului.

Suprafețele active (care vin în contact) se prelucrează, pentru a se asigura etanșarea în condiții optime, evitând astfel eventualele scăpări de gaze în atmosferă sau apariția celorlalte neajunsuri arătate mai înainte.

Etanșările cu labirinturi radiale (fig. 7.19). Statorul 1 este montat cu joc relativ mare în camera de capăt, etanșarea fiind asigurată cu ajutorul a trei inele

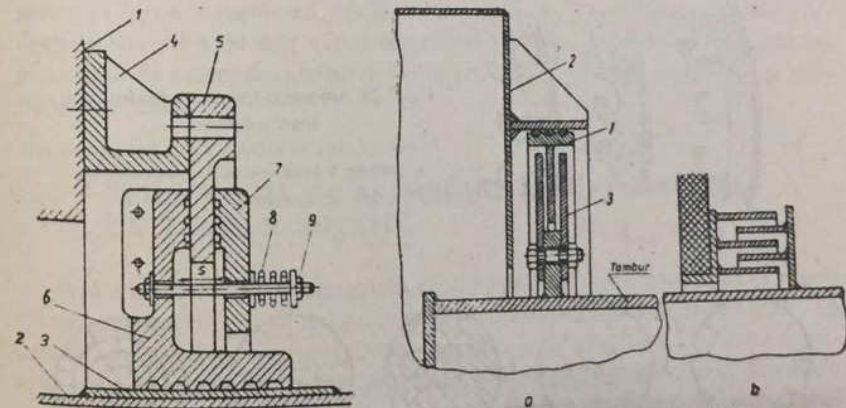


Fig. 7.18. Etanșare de capăt cu contact:
1 - cameră de capăt; 2 - tambur; 3 - inel de protecție; 4 - inel profilat din fontă cenușie, fixat etanș pe 1; 5 - inel de etanșare fix; 6 - inel de etanșare; 7 - inel de strângere; 8 - arc elicoidal; 9 - șurub-piuliță.

Fig. 7.19. Etanșare de capăt cu labirinturi:
a - radială; b - axială.

din șnur de azbest. Această construcție nu permite decât deplasări axiale mici. Faptul că statorul 1 poate efectua alunecări axiale, în locașul său, constituie o protecție împotriva avariei etanșării, în cazul apariției unor deplasări axiale mai importante.

Etanșările cu labirinturi axiale (fig. 7.19, b) permit jocuri axiale mai mari decât cele cu labirinturi radiale.

7.6. DISPOZITIVE ANEXĂ, INTERIOARE

Pentru intensificarea amestecării materialului granular și intensificarea schimbului de căldură în cuptor se utilizează cărămizi fasonate corespunzător (fig. 7.20, a și b) sau palete executate din oțel refractar și fixate cu ajutorul unor tije confecționate tot din oțel refractar (fig. 7.20, c).

Principalele tipuri de amenajări interioare utilizate, în general, la uscătoarele rotative sunt reprezentate schematic în figura 7.21.

În vederea aplicării tipului corespunzător, în funcție de natura materialului, se dau următoarele indicații cu caracter orientativ:

- pentru materiale în bucăți mari sau cu tendința de a se lipi se utilizează sistemul I, cu palete (fig. 7.21, a);
- pentru materiale granulare cu granule mici se utilizează sistemul II, cu elemente de repartizare, și sistemul III, cu rafturi (fig. 7.21, c);
- pentru materiale cu masă specifică mare, sau curgând greu, se utilizează sistemul IV, cu sectoare (fig. 7.21, d);
- pentru materiale pulverulente se utilizează sistemul V, cu alveole (fig. 7.21, e).

Amenajările interioare micșorează înălțimea de cădere a particulelor și, prin aceasta, mărunțirea suplimentară, cu degajare de praf în timpul uscării.

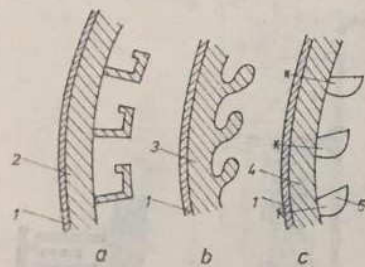


Fig. 7.20. Amenajări interioare pentru cup-toare rotative:

- 1 - manta, 2 - cărămizi cu casetă, 3 - cărămizi profilate, 4 - cărămizi de formă normală, 5 - palete metalice

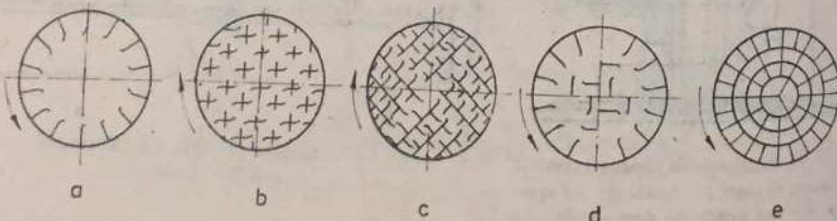


Fig. 7.21. Amenajări interioare pentru uscătoare rotative.

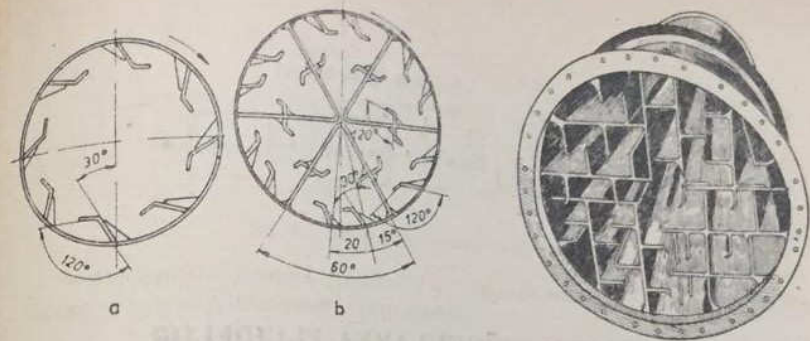


Fig. 7.22. Amenajări interioare.

Fig. 7.23. Amenajare interioară cu rafturi.

Uscătoarele rotative se prevăd cu amenajări interioare metalice (fig. 7.22) de forme diferite. Amenajările interioare se execută sub forma unor jgheaburi profilate, rectilinii de regulă, întâlnindu-se și jgheaburi conduse elicoidal pe interiorul tamburului.

Jgheaburile se fixează de manta, fiind prevăzute din loc în loc cu nervuri de rigidizare (fig. 7.22, a).

Pentru amenajările în sectoare (fig. 7.22, b) se mai prevăd din loc în loc elemente radiale pentru prinderea jgheaburilor.

Amenajarea interiorului cu rafturi (fig. 7.23) se execută în construcție sudată. Rafturile compuse din pereți și jgheaburi sudate de acestea se fixează, prin sudură, de suprafața interioară a tamburului, utilizându-se în plus și tiranți pentru rigidizarea ansamblului.

În cazul tamburului din figura 7.23 destinat uscării unor materiale termoplastice, pulverulente, se utilizează oțelul anticorosiv, ca material de construcție pentru evitarea contaminării produsului cu impurități. Pentru același motiv, cordoanele sudurilor de colț vor fi netezite și lustruite. În vederea intensificării procesului de uscarea din tambur se utilizează tuburile paletate amplasate în interiorul acestuia.

7.7. TEHNOLOGIA DE ASAMBLARE A AGREGATELOR CU TAMBUR ROTATIV

Așa cum s-a arătat, agregatele cu tambur rotativ se compun din tamburul rotativ susținut de grupul de sprijin prin intermediul bandajelor și al roilor. La capete este prevăzut cu camerele de alimentare și de evacuare. Etanșarea camerelor se realizează prin sisteme de etanșare. Acționarea tamburului se face de la motorul electric prin intermediul cuplajului, reductorului, al pinionului și coroa-unei dințate. Execuția tuturor părților componente ale cuptoarelor rotative în întreprinderile constructoare de utilaj tehnologic este obligatorie, la beneficiar urmând a se efectua montajul general, după care agregatul intră în probe tehnologice, conform indicațiilor din proiectul de execuție.

8.

UTILAJE PENTRU VEHICULAREA FLUIDELOR

În numeroase domenii industriale este necesară prezența fluidelor de lucru la anumiți parametri de stare (presiune, temperatură, volum) atât în timpul stocării acestora cât și în timpul transportului lor către diferitele etape ale unui proces tehnologic. În ambele situații, staționară sau dinamică, sunt necesare mașini capabile să producă variația parametrilor de stare sau a diferenței de presiune necesare pentru învingerea rezistențelor hidraulice sau aerodinamice de pe traseul parcurs, cât și a contrapresiunii existente în punctul terminal.

O clasificare generală a acestor mașini de lucru este foarte dificilă, avându-se în vedere marea diversitate a parametrilor de stare care trebuie satisfăcută în timpul funcționării, sensul de lucru (suprapresiune sau depresiune), cât și natura agentului de lucru folosit. O primă clasificare poate fi făcută în funcție de natura fluidului de lucru: pompe (pentru lichide) și compresoare (pentru gaze).

8.1. POMPE

8.1.1. Noțiuni de bază

Un sistem de pompare are trei componente principale: motorul de acționare (electric, hidraulic sau termic), generatorul hidraulic și rețeaua hidraulică. Denumirea de „pomă” este folosită de regulă pentru generatoarele care vehiculează lichide. În marea majoritate a cazurilor între motorul de acționare și pomă se interpune o transmisie mecanică sau hidraulică.

Parametrii energetici principali ai pompei sunt:

– *puterea absorbită* (N_{abs}), reprezentând puterea transmisă pompei de subsamblul de acționare și transmisie, și *puterea utilă* (N_u), reprezentând puterea netă transferată prin intermediul lichidului, rețelei hidraulice;

– *debitul de lichid vehiculat prin pomă*, care poate fi definit fie ca debit volumic (Q_v), reprezentând volumul de lichid ce traversează secțiunea de control în unitatea de timp, măsurat în m^3/s , fie ca debit masic (Q_m), reprezentând produsul debitului volumic cu densitatea lichidului ($Q_m = \rho \cdot Q_v$), măsurat în kg/s ;

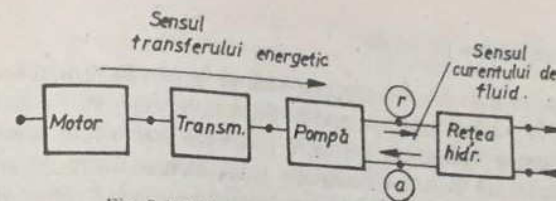


Fig. 8.1. Schema bloc a unui sistem de pompare.

– *randamentul pompei*, parametru ce caracterizează eficiența acesteia. Randamentul este exprimat valoric prin relația:

$$\eta = \frac{N_u}{N_{abs}}$$

Diferența dintre puterea absorbită și puterea utilă reprezintă puterea disipată în mediul ambiant sub formă de căldură ($N_d = N_{abs} - N_u$).

Lanțul transformărilor energetice poate fi urmărit în figura 8.1.

De regulă, în tehnică se cunoaște puterea și turația motorului (n), stabilindu-se astfel următoarea relație pentru calculul momentului de acționare:

$$M = \frac{N_{abs}}{\omega}$$

unde: N_{abs} se măsoară în W, iar momentul de acționare M în N.m. În relația anterioară ω este viteza unghiulară,

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, s^{-1}$$

în care n – turația rot/min.

Se definesc înălțimea de pompare (H) și presiunea de pompare (Δp) prin raportul dintre puterea utilă și debitul masic, respectiv debitul volumic:

$$H = \frac{N_u}{Q_m} [J/kg]$$

$$\Delta p = \frac{N_u}{Q_v} [J/m^3]$$

În relația care definește presiunea de pompare Δp , indicele i are rolul de a atrage atenția asupra punctului în care se măsoară debitul volumic $Q_{v,i}$ (refulare sau aspirație) din cauza compresibilității lichidului.

Considerând cele trei forme ale energiei mecanice ale lichidului și anume: energia potențială geodezică, energia potențială de presiune și energia cinetică, înălțimea de pompare poate fi exprimată prin intermediul parametrilor energetici din racorduri:

$$H = z_r - z_a + \left(\frac{p}{\rho \cdot g} \right)_r - \left(\frac{p}{\rho \cdot g} \right)_a + \frac{c_r^2 - c_a^2}{2 \cdot g}$$

unde: z_r ; z_a reprezintă cota geodezică a refulării, respectiv aspirației;

$\left(\frac{p}{\rho \cdot g} \right)_r$; $\left(\frac{p}{\rho \cdot g} \right)_a$ – presiunea potențială specifică la refulare, respectiv aspirație;

$\frac{c_r^2}{2g}$; $\frac{c_a^2}{2g}$ – presiunea cinetică specifică la refulare, respectiv aspirație

8.1.2. Clasificarea pompelor

După principiul de funcționare, pompele se împart în următoarele categorii: pompe volumice; turbopompe; pompe cu fluid motor; elevatoare hidraulice.

8.1.2.1. Pompe volumice. Pompele volumice sunt acele pompe care prin construcție realizează incinte elementare, etanș închise, între organele de lucru și restul pompei, prin intermediul cărora (datorită variației volumului incintelor elementare) sunt trecute volume elementare de lichid din zona de intrare (aspirație), cu presiune scăzută, în zona de ieșire (refulare), cu presiune ridicată. Debitul pompei depinde de frecvența (f) cu care sunt vehiculate aceste volume elementare de lichid dintr-o parte în cealaltă a pompei precum și de calitatea etanșării ansamblului (randamentul volumic). În cazul în care se realizează o etanșare satisfăcătoare a incintelor elementare și a ansamblurilor auxiliare din punct de vedere funcțional, debitul nu se modifică semnificativ o dată cu variația înălțimii de pompare.

O clasificare a pompelor volumice se poate face în funcție de construcția acestora, construcție ce este determinată de organul motor ce realizează funcționarea pe baza principiului volumic: pompe cu mișcare alternativă a organului de lucru; pompe cu angrenaj; pompe cu rotor excentric.

Pompe volumice cu mișcare alternativă a organului de lucru. Acest tip de pompă realizează vehicularea lichidului și creșterea presiunii prin comprimarea și evacuarea acestuia dintr-un spațiu închis cu ajutorul unui corp ce efectuează în permanentă o mișcare de du-te-vino. Întrucât organul de lucru nu poate realiza singur întregul ciclu de funcționare, la acest tip de pompă este obligatorie prezența unui ansamblu auxiliar de distribuție (supape). În funcție de forma și construcția organului de lucru care efectuează mișcarea alternativă, se pot distinge următoarele tipuri principale: pompe cu piston, pompe cu membrană, pompe cu clapetă. În funcție de numărul de trepte (etape succesive de comprimare) pompele pot fi monoetajate sau multietajate.

Pompe cu piston. Tipul cel mai răspândit din categoria pompelor volumice cu mișcare alternativă este cel al pompei cu piston (fig.8.2). Vehicularea și presiunea lichidului sunt realizate de un piston ce descrie o mișcare rectilinie alternativă. Ciclu de pompare cuprinde două faze, și anume: aspirația și refularea. Corecta succesiune a fazelor nu ar fi posibilă fără deschiderea și închiderea sincronizată a supapelor ce permit accesul și evacuarea lichidului din spațiul de comprimare.

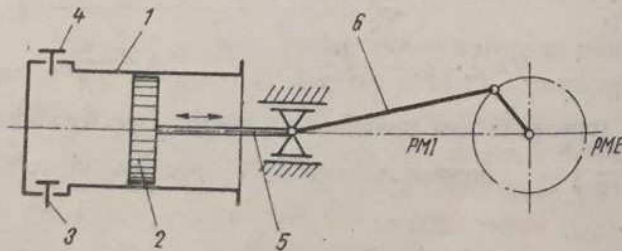


Fig. 8.2. Schema pompei cu piston cu simplu efect.

Perioada de aspirație se caracterizează prin mărirea volumului spațiului de comprimare 1, lucru ce se realizează prin retragerea pistonului 2. Retragera pistonului creează o depresiune în spațiul de comprimare, depresiune ce va deschide supapa de aspirație 3 și va permite lichidului să pătrundă în cilindrul pompei. Aceeași depresiune realizată în spațiul de comprimare (cilindru) va avea ca efect și închiderea etanșă a supapei de refulare 4, nepermițând astfel lichidului deja pompat să revină în interiorul pompei.

Perioada de refulare se caracterizează tot printr-o variație a volumului spațiului de comprimare, de data aceasta însă fiind vorba de o micșorare a acestuia. Această micșorare a volumului spațiului de comprimare produce o suprapresiune ce are ca efect deschiderea supapei de refulare și evacuarea lichidului în sistemul de pompare. Totodată, suprapresiunea închide etanș supapa de aspirație, nepermițând lichidului să treacă înapoi în conducta de aspirație. Acest mod de funcționare este caracteristic unei pompei cu piston cu simplu efect (v.fig.8.2).

Pompele cu simplu efect se caracterizează printr-o construcție simplă, dar prezintă dezavantajul unui debit intermitent, refularea având loc numai la deplasarea într-un singur sens a pistonului. În plus, chiar în timpul refulării, debitul pompei nu este constant. Întrucât debitul pompei este proporțional cu viteza de deplasare a pistonului iar acesta este acționat prin intermediul unui mecanism bielă-manivelă (impus de schimbarea periodică a sensului de deplasare), la capetele de cursă (punctul mort interior PMI și punctul mort exterior PME) debitul pompei va fi nul deoarece și viteza pistonului va fi nulă.

Analog, la mijlocul distanței dintre capetele de cursă, viteza pistonului fiind maximă și debitul pompei este maxim.

Notând cu A aria pistonului, cu $2R$ cursa acestuia (unde R este raza manivelei) și cu T perioada ciclului de pompare (o aspirație și o refulare), debitul mediu pentru o perioadă va fi:

$$Q_{v,m} = \frac{2A \cdot R}{T} = \frac{A \cdot l}{T}$$

unde: $l = 2R$ este cursa pistonului.

Gradul de neuniformitate a debitului (δ) se definește ca fiind diferența dintre debitul maxim și cel minim, raportată la debitul mediu.

$$\delta = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_m}$$

Spre deosebire de pompa cu piston cu simplu efect, pompa cu piston cu dublu efect, a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 8.3, se caracterizează prin câte o aspirație și o refulare la fiecare deplasare într-un sens a pistonului. Deci, cursa activă este prezentă la mișcarea pistonului în ambele

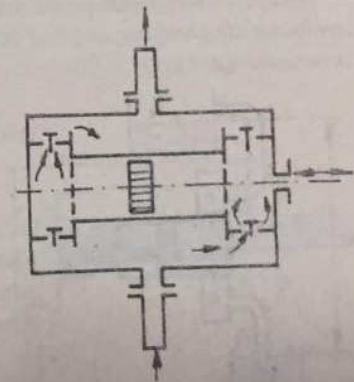


Fig. 8.3. Pompă cu un singur cilindru și dublu efect

sensuri. Se remarcă totodată că ambele fețe ale pistonului devin active, iar cilindrul pompei este închis la ambele capete și este prevăzut cu câte o supapă de aspirație și una de refulare la fiecare capăt.

Pompa cu piston cu dublu efect are o construcție mai complicată și presupune un montaj mai pretențios, însă prezintă avantajul unui debit mai uniform (fără a elimina complet pulsațiile) și aproape dublu la aceeași cursă, turație și diametru de piston.

Pentru pompa cu simplu efect, debitul teoretic mediu poate fi scris ca fiind:

$$Q = \frac{A \cdot l}{T} \text{ sau } Q = A \cdot l \cdot n, \text{ [m}^3/\text{min]}$$

unde n este turația motorului de antrenare.

La pompa cu piston cu dublu efect, lichidul este refulat la deplasarea în ambele sensuri a pistonului. Debitul de lichid refulat pe partea cilindrului în care se află tija, va fi mai mic decât debitul refulat pe cealaltă parte, cu o cantitate corespunzătoare volumului de lichid dislocuit de tija.

$$Q_v = [A + (A - a)] \cdot l \cdot n,$$

unde a este aria secțiunii transversale a tije, respectiv $a = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, d fiind diametrul tije.

Debitele exprimate prin intermediul expresiilor de mai sus reprezintă debite teoretice. Debitele reale sunt inferioare datorită fte neetanșeităților, prezente pe de o parte între piston și cilindru, pe de altă parte în sistemul auxiliar de distribuție (supape), fte datorită funcționării nesincronizate a acestuia.

Pentru determinarea înălțimii de pompare (h) a unei pompei cu piston se consideră cazul ilustrat în figura 8.4.

În afară de presiunea potențială geodezică (h) și de diferența de presiune ($p_2 - p_1$), pompa trebuie să învingă pierderile de presiune rezultate din:

- frecarea lichidului de pereții conductelor și pompei, numite *pierderi liniare de presiune*;
- trecerea lichidului prin coturi, vane și robinete, ramificații, numite *pierderi locale de presiune*;
- neetanșeități.

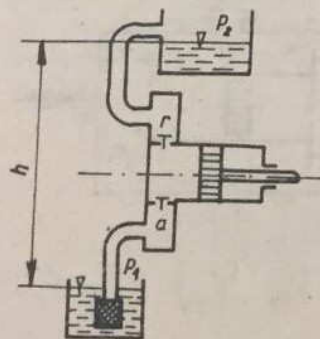


Fig. 8.4. Schema de pompare.

Astfel, înălțimea de pompare poate fi descrisă de o relație simplificată:

$$H = h + (p_2 - p_1) + H_p,$$

unde: p_1, p_2 - sunt presiunile existente în rezervoarele de aspirație, respectiv refulare; H_p - este suma pierderilor de presiune din sistemul de pompare.

Trebuie remarcat că, în cazul în care presiunea din rezervorul de aspirație (p_1) este egală cu presiunea atmosferică (cazul cel mai des întâlnit), înălțimea de aspirație h_0 este limitată la

valoarea înălțimii coloanei de lichid corespunzătoare presiunii atmosferice (pentru apă 1 atm = 10,33 m). Astfel, este evidentă variația înălțimii de aspirație (h_0) în funcție de altitudine. În plus, înălțimea de aspirație este influențată de temperatură și de turația motorului. Legată de turația motorului este și problema desprinderii lichidului de suprafața pistonului. Înălțimea de refulare a pompei h_r este teoretic nelimitată. Practic, ea este limitată de rezistența pieselor componente și de puterea motorului de antrenare.

După forma pistonului, pompele cu piston pot fi împărțite în:

- pompe cu piston disc, cu simplu sau dublu efect (v. fig. 8.2, fig. 8.3);
- pompe cu piston plonjor (fig. 8.5).

Spre deosebire de pompele cu piston disc, la pompele cu piston plonjor etanșarea nu se face direct între piston și cilindru, ci între piston și o cutie de etanșare montată pe capacul camerei de pompare.

Pompele cu piston plonjor se utilizează pentru pomparea lichidelor vâscoase și a suspensiilor.

Un tip evoluat al pompelor cu piston plonjor este *pompa diferențială* (fig. 8.6), care reprezintă o etapă intermediară între pompa cu simplu efect și cea cu dublu efect, în sensul că aspirația se face pe o singură față a pistonului, iar refularea pe ambele fețe. Având debit egal cu al pompei cu simplu efect de aceeași dimensiuni, pompa diferențială cu piston plonjor prezintă avantajul unui debit mai uniform, refularea lichidului făcându-se la deplasarea pistonului în ambele sensuri.

Caracteristicile constructive ale elementelor pompelor cu piston.

Corpul pompelor trebuie să prezinte o rezistență hidraulică minimă și să permită evacuarea completă a aerului în funcționare. În general, pentru lichide comune și în funcție de presiunea la care este supus, el poate fi executat din fontă (pentru presiuni mici) și din oțel turnat sau oțel aliat (pentru presiuni medii și înalte).

Pentru lichide corozive se vor folosi materiale inerte sau rezistente la mediile respective, cum ar fi: oțelul inoxidabil, bronzul, fontele silicioase, ceramica etc. În cazul în care acest lucru nu este posibil, corpul pompei poate fi confecționat din materiale folosite pentru lichide comune, iar protecția anticorozivă se realizează prin aplicarea pe suprafața interioară a corpului a unui strat

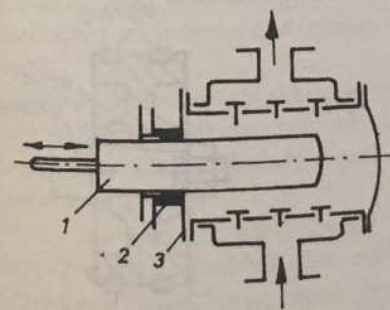


Fig. 8.5. Pompă cu piston plonjor.

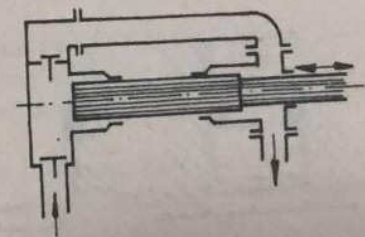


Fig. 8.6. Pompă diferențială cu piston plonjor.

dintr-un material corespunzător. Aplicarea stratului anticoroziv se poate face prin acoperire galvanică, bușare etc.

Pistonul pompei este confecționat din materiale corespunzătoare agresivității mediului de lucru (oțel carbon, aluminiu, bronz, oțel inoxidabil).

O atenție deosebită trebuie acordată prelucrării suprafeței laterale a pistonului plonjor, deoarece aceasta intră în contact direct cu elementul de etanșare. Astfel, este preferabil ca suprafața laterală a pistonului plonjor să fie rectificată la o rugozitate de $0,8 \mu\text{m}$. De asemenea, este necesară și o durificare a suprafeței rectificate, cum ar fi călirea, nitrurarea ionică, cromarea dură.

Spre deosebire de pistonul plonjor, pistonul disc nu emite pretenții deosebite privind rugozitatea, întrucât etanșarea față de cilindru se face prin intermediul inelelor O (presiuni mici) sau a segmentelor (presiuni medii și înalte). În acest caz, este pretențioasă execuția canalelor în care se introduc elementele de etanșare (inelelor, O, segmente).

În figurile 8.7 și 8.8 sunt prezentate etanșările cu inele O și segmente pentru pistoanele disc.

Supapele sunt organele pompei care realizează izolarea între spațiul de comprimare și aspirație, respectiv refluxare. De buna lor funcționare depinde în mare măsură randamentul pompei, ele fiind totodată elementele cele mai sensibile. Supapele pot fi plane (disc), conice sau sferice.

În funcție de modul lor de acționare, ele pot fi *automate* (deschiderea fiind determinată de presiunea lichidului, iar închiderea, de propria greutate și de forța generată de un element elastic) sau *comandate* de mecanisme cu pârghii sau came acționate la rândul lor de arborele motor.

Supapele se execută din diferite materiale (bronz, oțel, cauciuc, ebonită). De regulă, scaunul supapei este confecționat dintr-un material mai dur decât elementul mobil al acesteia. Aceasta se face pentru ca elementul care se uzează mai repede să fie totodată și cel mai ușor de demontat.

În cazul în care cuplul de materiale al etanșării supapă-scaun este de tip metal-metal, în afară de execuția foarte îngrijită a elementelor componente este absolut obligatoriu rodajul pieselor în contact.

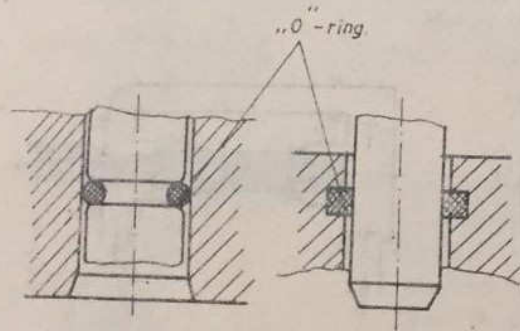


Fig. 8.7. Etanșări cu inele „O” pentru pistoane disc.

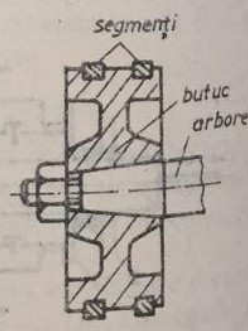


Fig. 8.8. Etanșări cu segmente pentru pistoane disc.

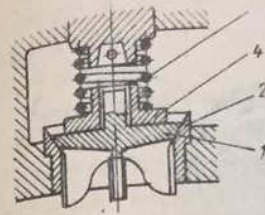


Fig. 8.9. Supapă conică.

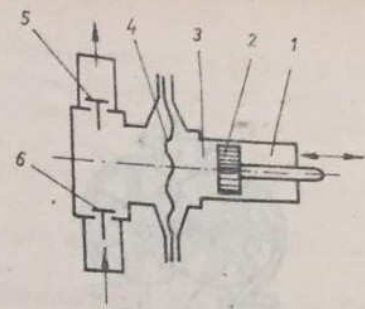


Fig. 8.10. Pompă cu piston și membrană.

În figura 8.9 este prezentată soluția constructivă a unei supape conice.

Având în vedere pretențiile ridicate de etanșările dintre segmente (inele „O”) și cilindru, respectiv dintre pistonul plonjor și cutia de etanșare, este obligatorie, pentru buna funcționare a pompei, prezența unui subansamblu care să preia funcția de filtrare a lichidului de lucru de impuritățile abrazive care, odată aspirate în cilindru ar afecta integritatea etanșărilor sus-menționate. Acest subansamblu se numește *sorb*, se află în rezervorul de lichid și este montat la extremitatea conductei de aspirație. Este, în general, de formă cilindrică, prevăzut cu găuri doar pe suprafața laterală și îmbrăcat în sită. Pentru a nu gătu conducta de aspirație este necesar ca suprafața totală a găurilor sitei precum și suprafața totală a găurilor sorbului să fie, fiecare în parte, mai mare decât suprafața secțiunii conductei de aspirație. Materialul din care se execută sorbul este ales în funcție de agresivitatea mediului în care acesta se utilizează. Pentru ca pompa să rămână amorsată și în timpul nefuncționării, se folosesc sorburi cu clapetă, împiedicându-se astfel curgerea lichidului înapoi în rezervor și menținându-se în acest mod conducta de aspirație plină în permanență.

Pompa cu piston și membrană (fig. 8.10) este destinată să lucreze în medii cu agresivitate ridicată (corosive, fierbinți, suspensii cu impurități). Ca și celelalte pompe cu piston se remarcă existența subansamblurilor auxiliare, respectiv supapa de aspirație 6 și cea de evacuare 5. Spre deosebire însă de celelalte pompe cu piston, pompa cu membrană nu transmite energia lichidului de lucru direct prin piston, ci prin intermediul unei membrane elastice 4 și a unui lichid cu proprietăți lubrefiante 3 aflat în spațiul dintre pistonul 2 și membrană.

Introducerea membranei elastice are rolul de a proteja pistonul și etanșarea de translație de agresivitatea mediului în care lucrează pompa. Materialul ales pentru execuția membranei trebuie să fie rezistent la acțiunea agresivă a lichidului de lucru.

Pompe volumice cu angrenaj. Acest tip de pompă folosește diferite genuri de angrenaje (cilindrice exterioare sau interioare, melc-coată melcată) pentru transportul lichidelor de genul: păcură, ulei, glicerină, parafină etc.

Cel mai des întâlnit tip de pompă volumică cu angrenaj este pompa cu angrenare exterioară.

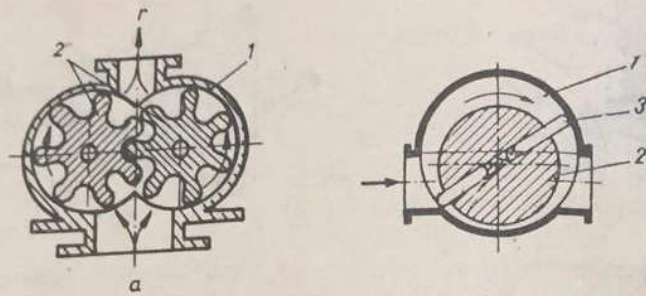


Fig. 8.11. Pompă cu roți dințate. Fig. 8.12. Pompă rotativă cu paletă.

Pompa cu roți dințate (fig. 8.11) se compune dintr-o carcasă, în interiorul căreia se află un angrenaj cilindric exterior cu raport de transmitere unitar. Una din roțile dințate (pinion) este acționată de un motor electric iar cealaltă (roata condusă) este pusă în mișcare de prima prin intermediul danturii. Lichidul din racordul de aspirație este „închis” în spațiul dintre flancurile opuse a doi dinți consecutivi și peretele carcasei (volum elementar de pompare) și transportat astfel către racordul de refulare. În momentul în care lichidul cuprins în volumul elementar de pompare al unei roți este eliberat, același lucru se petrece și cu lichidul aflat într-unul din volumele elementare de pompare al celeilalte roți. Eliberarea concomitentă a lichidului din două astfel de volume elementare în dreptul racordului de refulare va produce o suprapresiune care va antrena lichidul către ieșire.

Pompe cu rotor excentric. Pentru realizarea principiului de funcționare volumică, pompele cu rotor excentric sunt prevăzute fie cu paletă culisante, fie cu role culisante.

În figura 8.12 este prezentată o pompă cu rotor excentric și cu 2 paletă culisante.

În spintecăturile cilindrului se găsește câte o paletă paralelipipedică 3, cu suprafața de contact de pe interiorul cilindrului rotunjită. Spintecăturile sunt dispuse la 180° și permit deplasarea paletelor radial, în interiorul lor. Datorită forței centrifuge, paletele sunt în contact permanent cu suprafața interioară a cilindrului. Spațiul dintre paletă, suprafața interioară a cilindrului și suprafața exterioară a rotorului constituie un *volum elementar de pompare*. Acest volum se micșorează progresiv o dată cu deplasarea paletii către racordul de refulare, creând astfel comprimarea lichidului și evacuarea acestuia.

Pompele cu paletă se folosesc ca pompe de ungere, mai ales în acele cazuri în care ungerea pompei se face cu lichidul pompat. Se utilizează la sarcini și debite mici.

Turbopompe. Prin turbopompe se înțeleg pompele care realizează transferul energetic prin intermediul unui paletaj rotoric. Cele mai des întâlnite pompe din această categorie sunt *pompele centrifuge*.

Caracteristic lor este faptul că transferul energetic se realizează prin intermediul unui rotor paletat care este parcurs de lichid în sensul crescător al razei (centrifug). Curentul de lichid intră în rotor axial și părăsește rotorul cu viteze radiale.

Spre deosebire de pompele volumice care au un debit variabil, pompele centrifuge au un debit constant.

Atât debitul cât și presiunea de pompare sunt determinate de turația motorului și sunt independente.

Pe de altă parte, debitul, ca și randamentul de pompare, este dependent de forma paletelor rotorului și a carcasei (statorului) cât și de amenajările auxiliare ale acestuia (colector).

În figura 8.13 este prezentată o pompă centrifugă monoetajată care se compune dintr-un stator 1, în care se învârt rotorul 2, montat pe arborele 3, montat la rândul său pe lagărele 4.

Caracteristic acestor pompe este faptul că ele nu pot porni decât dacă sunt amorstate (conducta de aspirație și pompa sunt pline cu lichid). De aceea, de regulă pompele centrifuge sunt utilizate în regim încălzit de funcționare, adică, sunt amplasate sub nivelul lichidului pe care-l aspiră astfel încât pompa să rămână amorstată chiar și în timpul nefuncționării.

Aspirația lichidului se face axial prin racordul de aspirație 5. Lichidul odată pătruns în interiorul pompei este supus unor mișcări complexe. Pentru uniformizarea mișcării lichidului și pentru evitarea apariției șocurilor în rotor, paletetele acestuia se execută curbate.

Forma paletetele și a statorului, precum și forma orificiului de refulare (colector) au o mare influență asupra valorii presiunii și a randamentului de pompare.

O altă cale de uniformizare a mișcării lichidului și de înlăturare a șocurilor, este aceea de a fixa în stator un ansamblu de paletă orientate în sens contrar celor de pe rotor. Acest ansamblu se numește difuzor și are rolul de a îndepărta spre stator lichidul „pierdut” de paletetele rotorului în mișcarea lor, evitându-se astfel formarea turbioanelor și deci a pierderilor locale de presiune.

Ca și la pompa cu piston, înălțimea de aspirație a pompei centrifuge depinde de temperatura lichidului și de pierderile hidraulice din conducta de aspirație. Teoretic, depresiunea creată de rotația paletetele ar trebui să asigure o înălțime de aspirație corespunzătoare presiunii atmosferice și anume de 10,33 m. În realitate, factorii sus-menționați reduc înălțimea de aspirație la aproximativ 6 m (pentru apă).

Un alt fenomen des întâlnit la pompele centrifuge și care ia naștere în zona de aspirație este *cavitarea*. Apariția cavitării în pompă este consecința instabilității bulelor de gaz (germeni de cavitare) existente în lichid și dezvoltarea

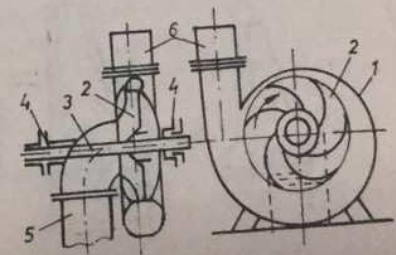


Fig. 8.13. Pompă centrifugă monoetajată.

astfel a unor goluri umplute cu vapori și gaze, urmată de surparea acestora în zone de presiune mai ridicată. Apariția bulelor de vapori are drept cauză scăderea presiunii în zona de aspirație sub valoarea presiunii de vapori a lichidului la temperatura de lucru, iar ca efect desprinderea de palete, perturbând la curgerea corectă a acestuia. Condensarea bruscă a vaporilor din bulele formate în timpul fenomenului de cavitație provoacă șocuri mecanice asupra paletelor, ducând la erodarea accelerată a acestora, erodare accentuată și de prezența oxigenului în bulele respective.

Apariția cavitației este însoțită de zgomote caracteristice care se transformă apoi în bătaii și șocuri puternice. Cavitația se poate identifica ușor după acest zgomot caracteristic și după trepidările pompei, însoțite de scăderea bruscă a debitului, presiunii și randamentului.

Pentru evitarea apariției acestui fenomen se caută să se monteze pompa într-un loc cu altitudine cât mai mică, utilizând lichidul de lucru la o temperatură cât mai redusă. În plus conducta de aspirație trebuie să fie bine etanșată pentru a se evita pătrunderea aerului. Din acest motiv este recomandabil să se verifice etanșeitatea conductei de aspirație, separat, înaintea montării acesteia. Rezistențele la curgere în conductele de aspirație trebuie reduse la minimum, utilizându-se conducte cu diametru mare și lungime mică, evitându-se totodată coturile. Se vor evita săiturile de diametru, trecerea de la un diametru mare la unul mic se va face lin, progresiv, evitându-se în același timp construcțiile favorabile apariției pungilor de aer.

Rotorul este principala componentă a unei pompei centrifuge. În figura 8.14 sunt reprezentate mai multe forme de rotoare.

De regulă, grosimea paletelor este constantă iar numărul de palete face obiectul unui calcul de dimensionare specific.

Materialul din care se execută rotoarele depinde de viteza periferică a acestora. Pentru viteze mai mici de 50 m/s, rotoarele se execută din fontă. Pentru viteze de până la 120 m/s, este obligatorie folosirea oțelului pentru execuția rotoarelor. Pe de altă parte nu trebuie pierdută din vedere agresivitatea mediului vehiculat. În acest caz, folosirea materialelor anticorozive este inevitabilă.

În cazul turațiilor mari (10 000–15 000 rot/min) se iau măsuri speciale pentru echilibrarea rotoarelor, atât în direcție radială cât și în direcție axială.

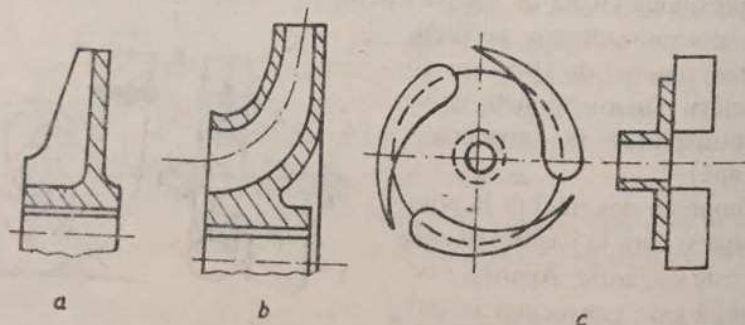


Fig. 8.14. Tipuri constructive de rotoare:
a - deschis, b - închis, c - cu palete.

Carcasa pompei se execută prin turnare, fie din fontă, fie din oțeluri anti-acide (în cazul vehiculării lichidelor corosive). Ea trebuie să aibă o formă spirală pentru ușurarea refulării lichidului.

Etanșările pompelor centrifuge, atât cele fixe, cât și cele mobile, sunt soluționate similar cu alte domenii ale construcției de mașini. Astfel, se folosesc garnituri de clingherit, marsit, cauciuc, azbest, pentru etanșările fixe și cutii de etanșare sau simeringuri la ieșirea arborelui din carcasa.

Etanșarea hidrodinamică între carcasa și rotor este însoțită de recirculări de debit care definesc randamentul volumic al pompei.

8.2. COMPRESOARE

Compressoarele sunt mașini de lucru. Ele sunt mașini, pentru că transformă energia dintr-o formă într-alta, mai exact, ele transformă energia mecanică furnizată de un motor, în energie de presiune a unor gaze, amestecuri de gaze sau vapori.

Din punct de vedere fenomenologic, compresoarele pot fi considerate mașini termice, deoarece procesul de comprimare a gazelor este însoțit de fenomene termice (încălzire).

Stabilindu-se drept criteriu de clasificare sensul de curgere a gazului supus comprimării, compresoarele pot fi împărțite în două categorii:

A. *Compressoare propriu-zise*, care preiau aerul din atmosferă, îl comprimă și îl introduc în incinta tehnologică, realizând astfel presiuni superioare presiunii atmosferice.

B. *Pompe de vid*, care preiau aerul din incinta tehnologică, îl comprimă și apoi îl refulează în atmosferă, obținând în incinta tehnologică presiuni mai mici decât presiunea atmosferică (vid).

8.2.1. Compressoare propriu-zise

După principiul de funcționare, compresoarele se împart în două mari grupe:

– *compresoare cu comprimare volumică*, la care comprimarea se realizează prin micșorarea volumului ocupat de gaz cu ajutorul unui organ mobil;

– *compresoare cu comprimare cinetică*, la care un rotor transferă gazului energie mecanică sub formă de energie cinetică, transformată ulterior în energie potențială de presiune.

Compressoarele, indiferent de principiul de funcționare, de natura și starea inițială a gazului, pot fi caracterizate prin două mărimi principale:

– *raportul de comprimare*

$$\varepsilon = \frac{p_r}{p_a}$$

p_r și p_a sunt presiunile de refulare și respectiv de aspirație a gazului;

– *debitul volumic refulat*, S_r , raportat la presiunea și temperatura de aspirație, p_a , respectiv t_a .

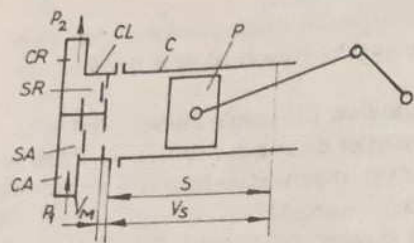


Fig. 8.15. Schema compresorului cu piston.

elementele precizate în figura 8.15: cilindrul C, pistonul P și chiulasa CL, din care sunt montate două supape. Una din supape permite aspirația gazului în cilindru, și se numește *supapă de aspirație SA*, a doua, prin care, după comprimare se refulază gazul în afara cilindrului, și se numește *supapă de refulare SR*. Compresorul mai este prevăzut cu o conductă de aspirație CA și o conductă de refulare CR.

În timpul funcționării, pistonul se deplasează alternativ între două puncte extreme denumite: *punct mort interior (PMI)* și *punct mort exterior (PME)*. Distanța dintre cele două puncte moarte se numește *curșa pistonului, s*, iar volumul de gaz împins de piston în timpul desfășurării cursei, se numește *volumul cursei sau cilindrul, V_c*. Spațiul care rămâne între capul pistonului și chiulasă, când pistonul este în PMI, se numește *volum mort, V_{mr}*.

Dimensiunile principale ale compresorului cu piston sunt: D – diametrul cilindrului, s – curșa pistonului, A_p – suprafața frontală a pistonului ($A_p = \pi \cdot D^2/4$), V_c – cilindrul spațiului activ.

Debitul volumic Q_{vr} , este volumul de gaz refulat în unitatea de timp de către ultima treaptă, raportat la starea de aspirație:

$$Q_{vr} = \lambda \cdot i \cdot n \cdot V_c$$

unde λ este coeficientul global de debit, i este numărul de cilindri, iar n este turația.

Neetanșeitățile exterioare se manifestă la garniturile chiulasei, la segmentii pistonului, la cutiile de etanșare. Aceste neetanșeități provoacă pierderi cantitative. Scăpările de gaz datorate acestor condiții imperfecte pot fi evitate prin racordarea zonelor neetanșate la conducta de aspirație. Prin această măsură, gazul pierdut prin neetanșeități este reintrodus în compresor. Procedeele sunt curente la compresoarele care lucrează cu gaze toxice sau explozive.

Neetanșeitățile interioare – prin supapele de aspirație și refulare, prin segmentii pistonului, în cazul compresoarelor cu două fețe active ale pistonului, provoacă și ele o reducere a debitului compresorului, însă nu prin scăpări de gaz în exterior, ci prin crearea unui circuit interior, continuu de gaz.

Toți acești factori care intervin în funcționarea reală a compresoarelor duc la mărirea lucrului mecanic necesar obținerii aceleiași cantități de gaz comprimat.

Compressoare cu comprimare volumică. Din această grupă fac parte compresoarele cu piston, care dispun de un cilindru, în care se deplasează liniar și alternativ un piston, și compresoarele volumice rotative, care de asemenea dispun de un cilindru în care însă se rotește un organ mobil.

Compresorul cu piston. Din punct de vedere constructiv, un compresor cu piston se compune, în principiu, cu

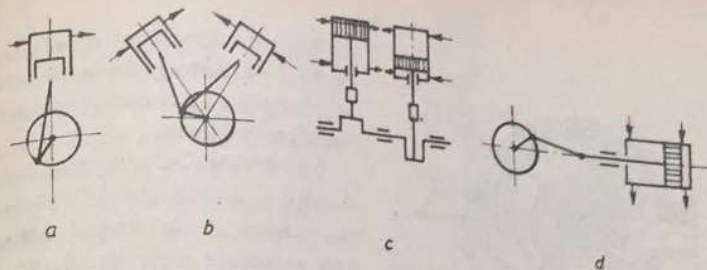


Fig. 8.16. Tipuri de compresoare monoetajate: a) vertical, cu un cilindru; b) – cu doi cilindri, în V; c) – cu doi cilindri, cu dublu efect; d) – orizontal, cu dublu efect

În figura 8.16, sunt prezentate schematic câteva tipuri de compresoare monoetajate (cu o singură treaptă de comprimare).

Compressoarele în care aceeași cantitate de gaz este comprimată succesiv în mai mulți cilindri, se numesc *compressoare în trepte*.

Se va prezenta spre exemplificare, compresorul cu două trepte de comprimare (fig. 8.17).

Un astfel de compresor se compune, în principiu, din următoarele: cilindrul 1 al treptei de joasă presiune, răcitorul intermediar RI, cilindrul 2 al treptei de înaltă presiune, pistoanele P, bieiele B, arborele cotit A și rezervorul de gaze R.

Gazul supus procesului de comprimare, este aspirat în treapta de joasă presiune prin supapa de aspirație SA₁, comprimat în această treaptă și refulat, prin supapa de refulare a primei trepte SR₁, în răcitorul intermediar RI. În acesta, gazul este răcit la presiune constantă, după care este aspirat în treapta de înaltă presiune prin supapa de aspirație SA₂, din nou comprimat și apoi refulat prin supapa de refulare SR₂. După a doua comprimare, gazul este introdus în rezervorul de gaze R, de unde este trimis spre utilizator.

Segmentii de etanșare realizează etanșarea între camera de comprimare și exterior, de buna funcționare a acestora depinzând foarte mult raportul de comprimare. Pentru reducerea uzurii segmentilor cât și pentru îmbunătățirea etanșării dintre aceștia, cilindri și pistoane, este necesară ungerea lor. În cazurile speciale, în care ungerea segmentilor este imposibilă (industria chimică, industria alimentară), se folosesc segmenti din grafit. În cazurile uzuale, segmentii se execută din oțeluri speciale.

Segmentii se utilizează până la 400 MPa, pentru obținerea unor presiuni mai ridicate utilizându-se rectificarea fină.

Compresorul volumic rotativ. Ca și compresoarele cu piston, compresoarele volumice rotative realizează comprimarea gazului pe principiul micșorării volumului ocupat de gaz, numai că la acestea din urmă, micșorarea volumului se face prin intermediul

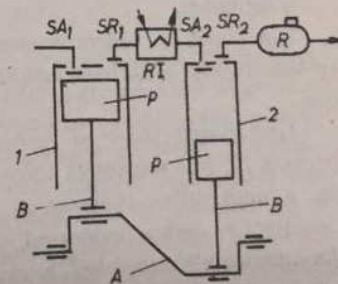


Fig. 8.17. Schema compresorului cu două trepte.

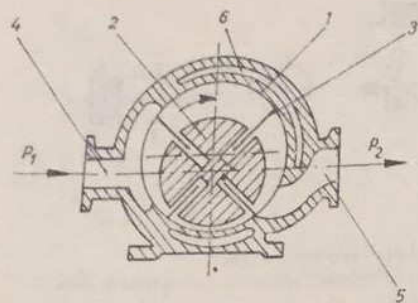


Fig. 8.18. Compressor rotativ.

cu suprafața interioară a cilindrului, iar excentricitatea rotorului provoacă existența unor celule cu volume variabile între rotor, paletă și cilindru. Jocul frontal dintre extremitățile paletelor și capacele cilindrului se lasă cât mai mic cu putință, pentru reducerea la minim a pierderilor de gaze prin neetanșeitățile dintre celulele succesive de comprimare. Pentru micșorarea zgomotului și a uzurii paletelor, viteza periferică a rotorului nu trebuie să depășească 12 m/s.

Gazul supus procesului de comprimare, este aspirat prin racordul 4, comprimat în celula de comprimare cu volum variabil și condus către racordul de refulare 5. Canălele 6 sunt prevăzute în scopul răcirii cu apă a compresorului.

Compressoarele cu paletă au debite de până la 400 m³/h și presiuni de 4 atm (compresoare cu o treaptă) sau 10 atm (compresoare cu două trepte).

Debitul compresorului rotativ este determinat de geometria celulei de comprimare și de turația motorului.

Compressoare cu comprimare cinetică (centrifugale). Aceste mașini fac parte din grupa compresoarelor dinamice și în funcție de raportul de comprimare ($r_c = \frac{P_c}{P_a}$) se numesc:

Turbocompressoare $r_c > 2,5$.

Turbosuflante $1,1 < r_c < 2,5$.

Ventilatoare $r_c < 1,1$.

Din punct de vedere constructiv, turbocompressoarele și turbosuflantele sunt identice.

Turbocompressoare și turbosuflante. În figura 8.19, este prezentată schema de principiu a unui turbocompresor cu două etaje. Constructiv, turbocompresorul se compune din următoarele: arborele 1, rotorul 2, difuzorul 3 și aparatul director 4. Gazul intră în rotor prin secțiunea a, de unde prin centrifugare este evacuat prin secțiunea b având o

energie cinetică ridicată. Din rotor, gazul trece în difuzor, unde cea mai mare parte din energia cinetică pe care o posedă, se transformă în energie potențială de presiune.

unor piese cu mișcare de rotație. În figura 8.18, este prezentată schema de principiu a unui compresor rotativ cu paletă culisante.

Reportul de comprimare pentru o singură treaptă este cuprins între 1,2 și 1,6, iar vitezele periferice ale rotoarelor ajung până la 200 m/s.

Turbocompressoarele și turbosuflantele sunt acționate fie cu turbine cu abur, fie cu motoare electrice.

Acționarea cu turbină este mai avantajoasă, deoarece permite reglarea turației între 85% și 100% din turația nominală și antrenarea directă fără multiplicator de turație.

Ventilatoare. Ventilatorul este utilizat în scopul vehiculării gazelor, în diferite spații.

În figura 8.20, este reprezentată schema de principiu a unui ventilator centrifugal, care constă din următoarele elemente: carcasa în formă de spirală 1, în care este montat pe arborele 2, rotorul cu paletă 3. Gazul este aspirat prin gura de aspirație 4 și după efectuarea comprimării în rotor și difuzorul 5, este evacuat prin gura de refulare 6.

În privința construcției, forma paletelor unui ventilator prezintă cea mai mare importanță. Din acest punct de vedere se cunosc ventilatoare cu paletă drepte și distribuite radial, curbate și întoarse înainte sau curbate și întoarse înapoi.

Se pot obține debite de până la 200 000 m³/h iar viteza periferică a paletelor poate atinge 80 m/s.

În cazul vehiculării gazelor agresive, elementele ventilatorului se execută din materiale corespunzătoare: oțeluri aliate cu crom, nichel și titan, policlorură de vinil sau se căptușesc cu plumb, cauciuc, lacuri.

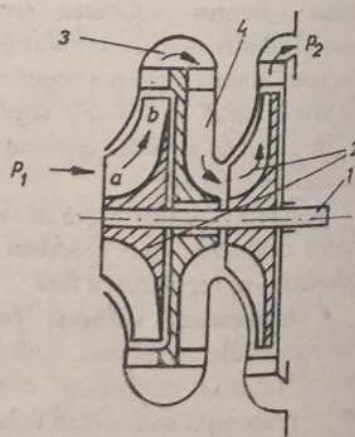


Fig. 8.19. Turbocompresor

energie cinetică ridicată. Din rotor, gazul trece în difuzor, unde cea mai mare parte din energia cinetică pe care o posedă, se transformă în energie potențială de presiune.

Reportul de comprimare pentru o singură treaptă este cuprins între 1,2 și 1,6, iar vitezele periferice ale rotoarelor ajung până la 200 m/s.

Turbocompressoarele și turbosuflantele sunt acționate fie cu turbine cu abur, fie cu motoare electrice.

Acționarea cu turbină este mai avantajoasă, deoarece permite reglarea turației între 85% și 100% din turația nominală și antrenarea directă fără multiplicator de turație.

Ventilatoare. Ventilatorul este utilizat în scopul vehiculării gazelor, în diferite spații.

În figura 8.20, este reprezentată schema de principiu a unui ventilator centrifugal, care constă din următoarele elemente: carcasa în formă de spirală 1, în care este montat pe arborele 2, rotorul cu paletă 3. Gazul este aspirat prin gura de aspirație 4 și după efectuarea comprimării în rotor și difuzorul 5, este evacuat prin gura de refulare 6.

În privința construcției, forma paletelor unui ventilator prezintă cea mai mare importanță. Din acest punct de vedere se cunosc ventilatoare cu paletă drepte și distribuite radial, curbate și întoarse înainte sau curbate și întoarse înapoi.

Se pot obține debite de până la 200 000 m³/h iar viteza periferică a paletelor poate atinge 80 m/s.

În cazul vehiculării gazelor agresive, elementele ventilatorului se execută din materiale corespunzătoare: oțeluri aliate cu crom, nichel și titan, policlorură de vinil sau se căptușesc cu plumb, cauciuc, lacuri.

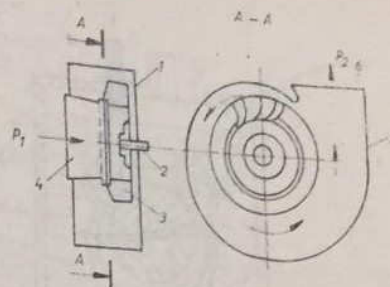


Fig. 8.20. Ventilator centrifugal.

8.2.2. Pompe de vid

Tehnologiile desfășurate în vid realizează atât produse care lucrează în permanență în vid (lămpi și tuburi electronice, acceleratoare etc.) dar și produse care funcționează la presiune atmosferică, dar pentru care în procesul de fabricație a fost necesară producerea presiunilor joase (piese acoperite cu straturi cație a fost necesară producerea presiunilor joase (piese acoperite în care subțiri, impregnate sau uscate în vid). Enumerarea tuturor domeniilor în care tehnica vidului este prezentă ar fi practic imposibilă, însă se pot aminti aplicațiile industriale în care obținerea presiunilor joase și a atmosferei cu compoziție controlată este indispensabilă: transportul pneumatic, topirea și sinterizarea în metalurgie, ambalarea în vid, execuția lămpilor, tuburilor electronice și a circuitelor integrate, detecția neetanșeităților, liofilizarea, degazarea, spectroscopia de masă, separarea izotopilor, microscopia electronică.

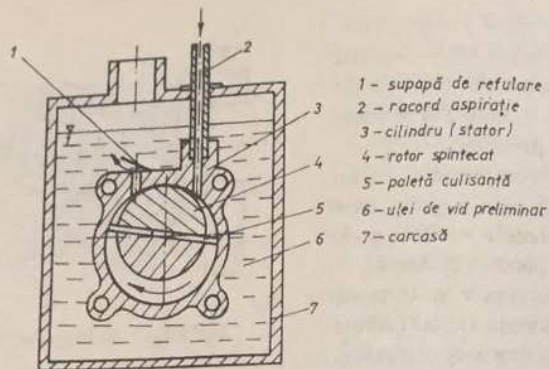


Fig. 8.21. Pompă de vid rotativă, cu palete.

Cele mai des întâlnite pompe de vid în industrie sunt pompele mecanice, iar dintre acestea, pompele rotative cu palete și pompele ROOTS.

Pompele rotative cu palete au o construcție aproape identică cu cea a compresoarelor volumice rotative cu palete culisante, doar obținerea unor presiuni foarte scăzute ducând la apariția unor particularități constructive ale celor dintâi. În figura 8.21, este prezentată schema de principiu a unei asemenea pompe de vid. Principiul funcțional este asemănător cu al compresorului volumic rotativ, însă, spre deosebire de acesta, aerul comprimat între palete, rotor și stator este evacuat la presiune constantă (atmosferică). O altă particularitate a pompei îl constituie faptul că aceasta funcționează imersată în ulei, datorită pretențiilor deosebite care se pun în ceea ce privește etanșările. Astfel, pe lângă rolul deosebit pe care îl are în etanșarea interstițiilor pompei, uleiul mai îndeplinește următoarele funcțiuni: umplerea spațiilor moarte și ungerea organelor mobile în contact.

O altă particularitate a pompei de vid rotative cu palete, o constituie geometria specifică a interstițiului dintre rotor și stator, reprezentată în figura 8.22. Frezarea executată în partea superioară a suprafeței interioare a statorului, poartă numele de „coamă” și are rolul de a lungi interstițiul, ducând implicit la scăderea debitului de aer care are tendința să se înapoieze pe aici în camera de aspirație. Acest lucru este ușurat de prezența uleiului în interstițiu.

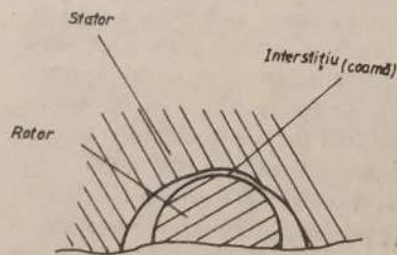


Fig. 8.22. Forma interstițiului dintre stator și rotor.

În general, la cele mai multe pompe de acest tip, uleiul pătrunde în canalele de ungere datorită gravitației și diferenței de presiune existente între baia de ulei și interiorul statorului. În unele cazuri, când condițiile de lucru sunt foarte grele (presiunea la aspirație mare și deci diferența de presiune sus-amintită redusă) se utilizează ungerea sub presiune. Această soluție presupune montarea pe arborele prin-

cipal a unui agregat de pompare al cărui rol este acela de a trimite sub presiune ulei la scaunul supapei, în interiorul statorului și în lagăre.

Pentru o pompă cu o treaptă, presiunea limită obținută este de aproximativ 10^{-2} mbar.

Se construiesc și pompe de vid rotative cu trei sau patru palete.

Modul de funcționare și caracteristicile unei pompei sunt cuprinse în diagrama specifică, în coordonate $p - S$ (fig. 8.23), în care p este presiunea și S - debitul volumic.

După cum se observă din diagramă, pompele de vid rotative cu palete pot funcționa începând de la presiune atmosferică.

În mod obișnuit, materialele de construcție sunt relativ obișnuite: pentru stator - fontă cenușie sau albă, pentru rotor - oțel carbon de calitate, pentru palete - textolit fiert în ulei sau diferite aliaje antifricțiune, pentru elementele de etanșare (supape, simeringuri, inele „O”) - o largă gamă de elastomeri, cum ar fi: cauciucul perbunan, neoprenic, siliconic, fluoroelastomeri (VITON), teflon sau materiale metalice (cupru, argint).

Spre deosebire de tehnica presiunilor înalte, tehnica vidului nu utilizează garnituri plate, ci inele „O”, garniturile plate fiind folosite doar în cazul garniturilor metalice.

O precizare aparte trebuie făcută în ceea ce privește uleiul utilizat, care în afara proprietăților unguente deosebite, mai are o proprietate și anume presiunea de vapori scăzută (max. 10^{-4} mbar).

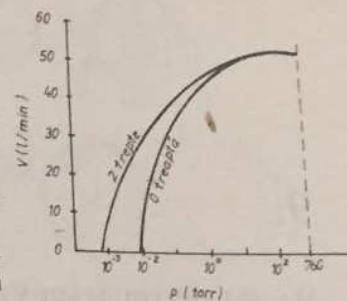


Fig. 8.23. Diagrama presiune-debit a pompei de vid rotative, cu palete.

9.

MAȘINI PENTRU MĂRUNȚIREA MATERIALELOR SOLIDE

9.1. CONSIDERAȚII GENERALE

Prin mărunțire se realizează divizarea materialelor solide, de la volume mari (bulgări inițiali) la volume mici, cu ajutorul forțelor mecanice. Dimensiunile finale ale bucăților de material depind de natura acestuia, de starea sa inițială și de caracterul operației de mărunțire.

Divizarea se face în bucăți neegale ca volum și continuarea mărunțirii duce la volume din ce în ce mai mici și de dimensiuni apropiate. O dată cu avansarea mărunțirii consumul de energie mecanică crește.

Mașinile destinate mărunțirii trebuie să acționeze asupra materialelor astfel încât în interiorul acestora să apară ruperi. În final se urmărește obținerea anumitor spectre granulometrice și chiar a unor anumite forme geometrice a granulelor.

Mecanismul de mărunțire constituie un criteriu cu privire la clasificarea mașinilor de mărunțire.

Dacă se ia în considerație dimensiunea materialului alimentat D și cea a materialului mărunțit d atunci apare un alt criteriu de clasificare, în funcție de gradul de mărunțire, dat de raportul adimensional:

$$i = \frac{D}{d}$$

În funcție de raportul i (gradul de mărunțire) principalele mașini de mărunțit se clasifică conform figurii 9.1, în două mari categorii denumite *concasoare* și *mori*.

În ce privește procesul de mărunțire, trebuie arătat că în timpul acestei operații starea corpurilor solide se modifică, ele fiind solicitate mecanic și termic. În interiorul materialului supus mărunțirii apar stări de deformații și tensiuni. La depășirea locală a rezistenței materialului apar alunecări în planele de clivaj, fie ruperea fragilă sau o reacție combinată.

În general, materialul cu care mașinile de mărunțit sunt alimentate, nu are o granulație uniformă. În acest scop este absolut rațional ca materialul supus mărunțirii să fie mai întâi clasat. De aceea materialul este supus inițial unei operații de ciuruire preliminară, prin aceasta materialul mărunțit este separat, urmând a fi reunit cu restul materialului după ce acesta a fost supus operației de mărunțire.

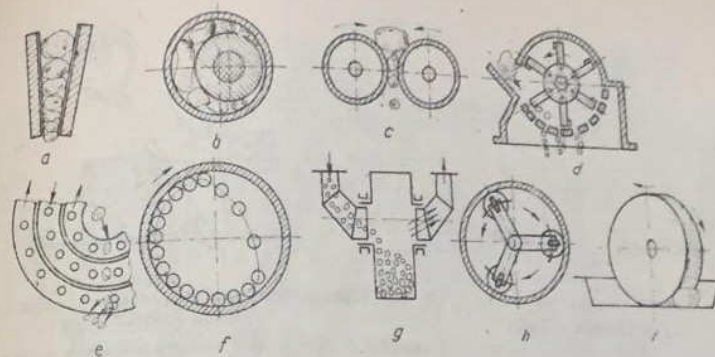


Fig. 9.1. Clasificarea mașinilor pentru mărunțire:

A - concasoare: a - cu fălci, b - cu con, c - cu cilindri (valțuri), d - cu ciocane, e - mori cu știfturi (dezintegratoare); f - cu tambur, cu bile sau cu bare, g - cu tambur, autogenă; h - cu inel și role, i - cilindră (cu pietre colerang).

9.2. CONCASOARE

9.2.1. Rol funcțional, tipuri constructive, descriere, părți componente

Concasoarele sunt mașini destinate efectuării operației de mărunțire primară și mijlocie a materialelor solide. Din punct de vedere constructiv, concasoarele pot fi: concasoare cu fălci, concasoare conice, concasoare cu cilindri și concasoare cu ciocane.

9.2.2. Concasorul cu fălci

Este utilizat, în general, la mărunțirea grosolană și mai rar pentru mărunțirea mijlocie.

Gradul de mărunțire ($i = \frac{D}{d}$) la concasoarele cu fălci, are valorile:

$i = 2 \dots 6$ pentru bucăți mari și dure;

$i = 5 \dots 10$ pentru bucăți de mărime mijlocie.

Concasoarele cu fălci pot fi cu mișcare oscilantă (fig. 9.2) sau cu mișcare complexă (fig. 9.3). În ambele cazuri alimentarea cu material se face pe la partea superioară, în timp ce evacuarea materialului concasat se face prin deschiderea dintre falca mobilă și cea fixă, situată la partea inferioară a mașinii.

Acționarea concasorului cu mișcare oscilantă simplă a fălcii se face printr-un mecanism cu articulație dublă, în timp ce la concasorul cu mișcare complexă a fălcii, acționarea se realizează cu un mecanism cu articulație simplă.

În mod inevitabil forțele care acționează asupra materialului supus operației de mărunțire, încarcă lagărele mașinii, determinând astfel o creștere accentuată a uzurii lagărelor. Acest fapt conduce în mod implicit, la reducerea debitului concasorului și la accentuarea fenomenelor de uzură.

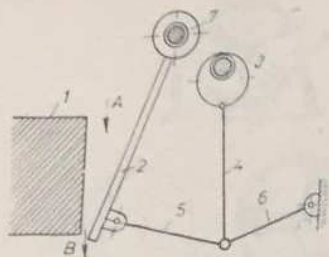


Fig. 9.2. Schema concasorului cu mișcare oscilantă simplă a fălcii:
1 - falcă fixă, 2 - falcă mobilă, 3 - excentric, 4 - bielă, 5 - placă de presiune față, 6 - placă de presiune spate, 7 - suspenția fălcii mobile;
A - alimentare; B - evacuare.

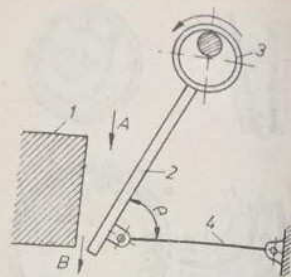


Fig. 9.3. Schema concasorului cu mișcare complexă a fălcii:

1 - falcă fixă, 2 - falcă mobilă, 3 - excentric și suspenție, 4 - placa de presiune, 5 - sensul rotației excentricului. A - alimentare; B - evacuare
Pentru concasare grosolană $\theta < 90^\circ$, pentru concasare fină $\theta \geq 90^\circ$.

Concasoarele cu fălci prezintă următoarele avantaje:

- construcție și întreținere relativ simplă;
- siguranță în funcționare mare;
- greutate relativ redusă și cost scăzut;
- gabarit relativ redus.

Ca dezavantaje se menționează:

- mers neliniștit, trepidații, zgomot;
- necesitatea unui volant greu;
- fundație grea, costisitoare;
- funcționare ciclică cu mase mari în oscilație.

La concasorul cu fălci unul din volanți este executat ca roată pentru curele trapezoidale. Motorul electric de acționare se montează pe glisieră pentru a permite deplasarea și variația distanței în vederea întinderii curelelor. Evident, volantul și curelele trapezoidale sunt protejate de apărători, din motive de protecție a muncii.

9.2.3 Concasorul cu dublă articulație

Concasorul cu dublă articulație (fig. 9.4) se compune din falca fixă 1 și falca mobilă 2, falca fixă făcând corp comun cu batiul mașinii, în timp ce falca mobilă oscilează în jurul axului 3 rezemat pe lagărele montate în părțile laterale ale batiului. Spațiul de lucru este delimitat de cele două fălci ale concasorului și de pereții laterali 6 ai batiului, protejați prin blindaje. Fălciile fixe și mobile sunt protejate împotriva unzării cu ajutorul plăcilor de blindaj 4, executate din oțel manganos, fiind fixate de fălci prin intermediul șuruburilor. Pentru a fi ferite de uzură, șuruburile de fixare a blindajelor sunt cu cap înecat.

Deplasarea plăcilor pe blindaj spre axul fălcilor sub acțiunea forțelor de frecare dintre materialul supus concasării și blindaj, este împiedicată cu ajutorul penei 5.

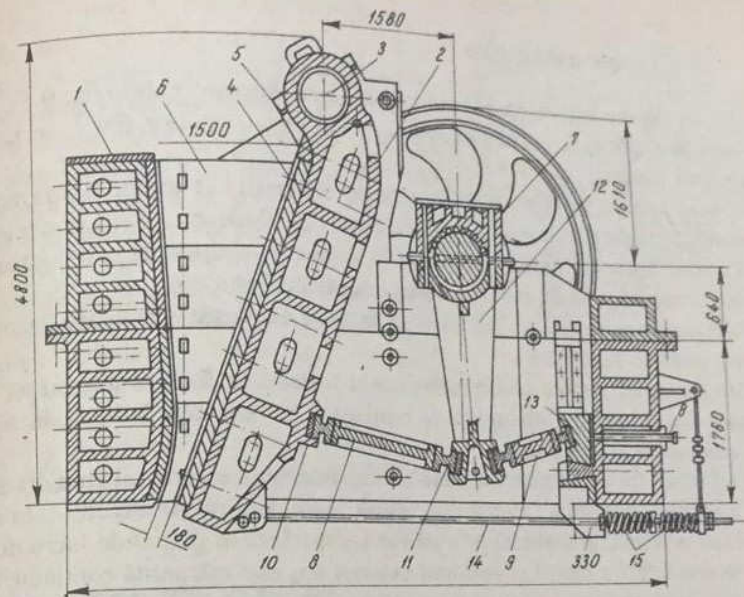


Fig. 9.4. Concasor cu dublă articulație.

Rolul penei este și acela de a permite strângerea blindajelor prin eliminarea interstițiilor dintre ele. Blindajele au un profil curbat, în zona de acționare asupra materialului concasat, pentru a asigura astfel un efect de calibrare a materialului mărunțit. Din punct de vedere constructiv, jumătatea inferioară a corpului lagărului axului 3 face corp comun cu batiul.

Mișcarea oscilantă a fălcii este asigurată de un mecanism bielă-manivelă, în componența căruia între arborele cu excentric 7, care se reazemă pe lagăre fixate și ele pe batiu. La ambele capete ale acestui arbore se află cei doi volanți, dintre care unul se utilizează și ca roată pentru curelele trapezoidale, al doilea volant fiind prevăzut cu orificii în coroană. Concasorul este prevăzut și cu un mecanism cu clichet care are rolul de a scoate sistemul bielă-manivelă din punctul mort, în vederea pomirii.

Falca mobilă este prevăzută cu cuzinetul 10 pentru rezemarea plăcii de presiune 8. Celălalt capăt al plăcii de presiune se articulează în cuzinetul 11, montat pe bielă 12. Modificarea deschiderii fantei de evacuare se realizează cu ajutorul cuzinetului 13, al plăcii de presiune spate, montat în batiu. Împiedicarea desfacerii articulațiilor sistemului fălcii mobile la cursa de întoarcere este realizată cu ajutorul tiranților 14 și a arcurilor 15 (v. fig. 9.4).

Concasoarele cu articulație simplă sau dublă utilizează lagăre de alunecare sau lagăre cu rulmenți oscilanți cu role-butoiaș.

Ungerea concasoarelor se realizează cu ulei mineral (la lagărele arborelui cu excentric - atât cele de la batiu cât și din capul bielei) sau cu unsoare consistentă la lagărul din capul fălcii mobile.

9.2.4. Concasoarele conice

Au ca organe active conul exterior fix și cel interior mobil (fig. 9.5). Datorită mișcării circulare a conului interior 1 în conul exterior fix 2, se produce mărunțirea materialului.

În mișcarea de rotație a conului interior materialul ce urmează a fi mărunțit se introduce pe la partea superioară, prin zona de alimentare 4. El se deplasează după o traiectorie elicoidală, coborând în cadere gravitațională spre partea inferioară din zona 3 a fantei minime, este comprimat și zdrobit.

Evacuarea materialului mărunțit se face pe la partea inferioară a zonei 3, printr-o gură de descărcare.

Din punct de vedere constructiv, conul interior se fixează într-un ax ce se rostogolește în lagăre. Construcția se realizează în variantele indicate în schema de principiu din figura 9.6.

Spațiul de lucru. În concasoarele conice bucățile de material sunt sfărâmate prin apăsarea continuă a conului mobil care se rotește excentric în conul fix. Materia primă, alimentată prin pâlnie și introdusă în spațiul de lucru delimitat de conul interior mobil și de conul exterior fix, este mărunțită continuu. Fiind montat pe bucașa excentrică, conul mobil execută o mișcare circulară excentrică, fanta dintre cele două conuri se micșorează continuu, materialul este prins între acestea și sfărâmat prin strivire și încovoiere. Zonele de mărunțire și evacuare a materialului mărunțit, caracterizate prin deschiderile e și $e + s$, se deplasează continuu, o dată cu mișcarea circulară, excentrică, a conului mobil (v. fig. 9.5). Materialul concasat este descărcat în direcția axială.

Conul fix și cadrul mașinii se execută din oțel turnat. Conul mobil se toarnă din fontă cenușie sau oțel. Ambele conuri (poz. 1 și 2) ale concasorului sunt protejate pe fețele de lucru cu blindaje din oțel manganos. Blindajele conului

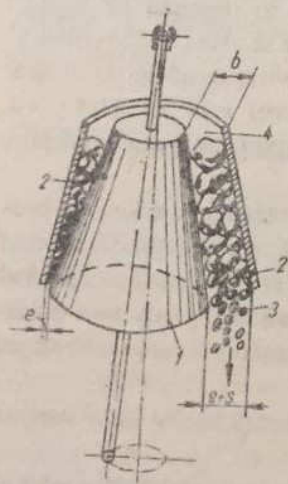


Fig. 9.5. Concasor conic (schemă).

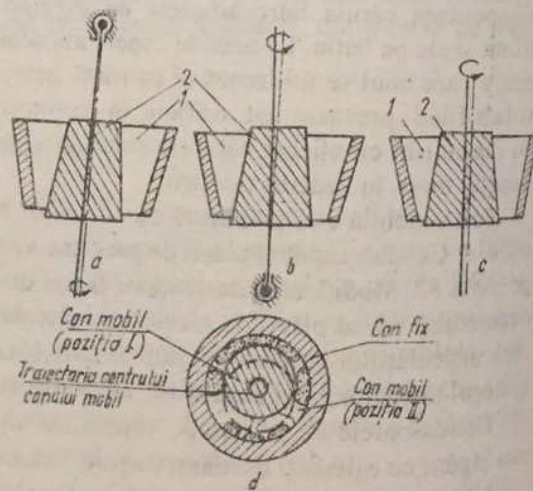


Fig. 9.6. Schema de principiu la concasoarele conice: a - concasor cu arbore suspendat; b - concasor cu arbore sprijinit; c - concasor cu ax fix; d - secțiune transversală prin spațiul de lucru.

mobil, sub formă de bușe tronconice, sunt îmbinate între ele prin suprafețe cu prag și adâncitură și strânse cu o piuliță care se înfiletează pe capacul superior al axului fix.

Între conul mobil și blindajele sale se toarnă aliaj de zinc pentru rezemarea acestora pe întreaga suprafață a conului. Blindajele conului fix, executate din elemente netede pe fața de lucru și nervurate pe fața de rezemare, se montează pe conul fix după ce în prealabil acesta a fost nivelat cu mortar de ciment. Între elementele blindajelor (trunchiuri de con), după reglarea jocurilor necesare, se toarnă aliaj de zinc.

Acționarea conului interior al concasorului (fig. 9.7) se realizează de la un motor electric prin intermediul reductorului și al cuplajelor.

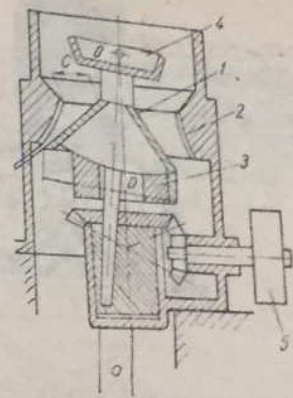


Fig. 9.7. Concasor conic cu arbore în consolă (schemă): 1 - con mobil; 2 - con fix; 3 - reazem sféric; 4 - taler de alimentare; 5 - acționare.

9.2.5. Concasoarele cu ciocane

Organele active ale acestui tip de concasor sunt ciocanele 1, care fac parte din rotorul mașinii (fig. 9.8). Fiind încorporate în rotor, în mișcarea lor de rotație lovesc materialul alimentat prin pâlnia 6, aruncându-l spre blindajul 7, care este fix. În mișcarea gravitațională materialul este antrenat spre partea inferioară a concasorului, urmând ca particulele de mărime corespunzătoare să fie descărcate prin fantele grătarului 8, executat din bare, montat în poziție orizontală, paralel cu axa mașinii. Punctele de articulație ale ciocanelor sunt situate pe axele 2, fixate la rândul lor în discurile 3, calate pe arborii 4 al mașinii.

Interiorul carcasei 5 este captușit corespunzător cu plăci de blindaj, așa cum s-a arătat mai înainte.

Operația de mărunțire se desfășoară în trei etape succesive, astfel:

- lovirea în zbor de către ciocane a materialului introdus prin pâlnia 6;
- proiectarea bucăților spre blindajul mașinii, unde sfărâmarea are loc și sub efectul loviturilor ciocanelor;
- strivirea bucăților de material între ciocane și barele grătarului.

În practică se utilizează și concasorul cu ciocane articulate cu

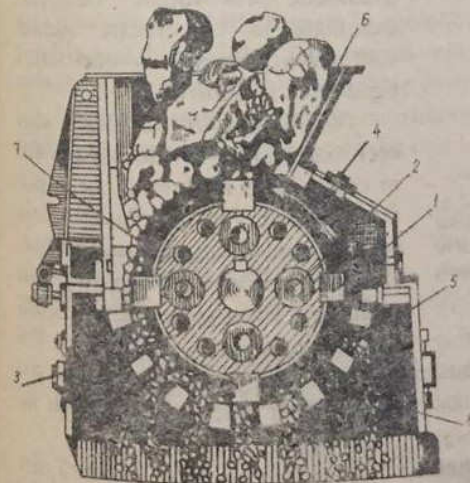


Fig. 9.8. Concasor cu ciocane.

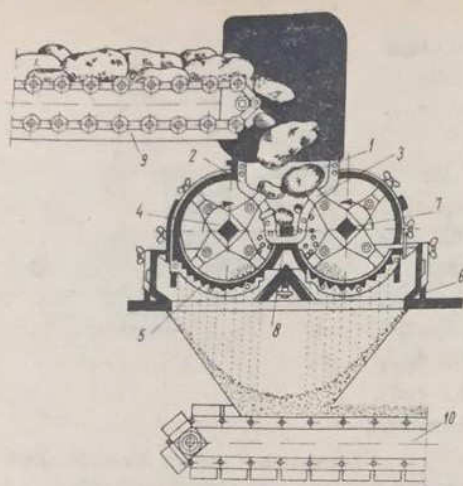


Fig. 9.9. Concator cu ciocane articulate, cu două rotoare:

1 - gură de alimentare; 2 - grătar superior în formă de lăcă, 3 - ciocan, 4 - corp port ciocan; 5 - grătar inferior; 6 - carcasa; 7 - arbore de secțiune pătratică; 8 - nicovală; 9 - transportor de alimentare; 10 - transportor de evacuare a produsului concasat

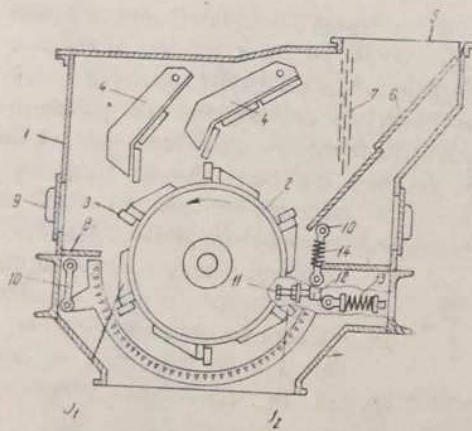


Fig. 9.10. Mașină prin impact, cu un rotor și grătar:
1 - carcasa; 2 - rotor; 3 - bară de șoc; 4 - nicovală articulată; 5 - gură de alimentare; 6 - plan înclinat; 7 - perdea de lanțuri; 8 - poliță; 9 - orificiu cu capac; 10 - suspensiv grătarului; 11 - dispozitiv de reglare a jocului dintre capacul ciocanelor și grătar; 12 - reazem pentru 11, 13 și 14 - arcuri elicoidale.

mangan, turnat și călit, sau din oțeluri austenitice. Întrucât oțelul manganos nu poate fi prelucrat prin așchiere, găurile necesare prinderii plăcilor de blindaj se prevăd la turnare.

În vederea ușurării operațiilor de turnare și montaj blindajele se execută din mai multe bucăți (tăblii). Se știe că tăbliile din oțel manganos situate în partea

două rotoare (fig. 9.9) la care alimentarea cu material și evacuarea materialului mărunțit se realizează cu ajutorul transportoarelor cu racleți. În general, cele două rotoare se rotesc în sens contrar.

9.2.6. Concatorul prin impact (fig. 9.10).

Se compune din carcasa 1 în construcție sudată (prevăzută cu blindaje) în interiorul căreia rotește rotorul 2, prevăzută cu ciocanele fixe, 3, având forma unor bare de șoc. Aceste bare lovesc materialul alimentat prin gura 5 și îl aruncă spre plăcile de impact 4, dispuse după o spirală, fixate de carcasă.

Plăcile de impact 4 pot roti în jurul unor articulații.

9.2.7. Materiale, execuție, montaj

În general, batiurile concatoarelor se execută din oțel turnat sau din plăci de oțel laminat, asamblate prin sudare. Batiurile executate în construcție sudată sunt nervurate pentru a mări astfel rigiditatea structurii.

Plăcile mobile se toarnă din oțel executându-se, de asemenea, în construcție nervurată. În capul fălcii mobile sunt amplasați cuzineții din bronz sau din oțel turnat, cu căptușeală din compoziție, sau rulmenți. Blindajele se execută din oțel manganos cu 12 ... 14%

inferioară a concatorului se uzează mai repede decât cele de sus, motiv pentru care se vor înlocui individual.

Oțelurile austenitice pentru blindaje sunt nemagnetice. În vederea reținerii bucăților de metal se instalează, în aval de concator, separatoare magnetice.

O caracteristică a blindajelor din oțel manganos o constituie rezistența acestuia la presiuni mari, blindajele deformându-se în acest caz plastic. Se poate face și o profilare a blindajelor (fig. 9.11), sub forma unor striiațiuni longitudinale pentru a mări efectul de mărunțire (zdrobire).

Bielele concatoarelor cu dublă articulație se execută din oțel turnat. Lagărele mașinilor mari, sunt cu alunecare, însă la concatoarele mici se utilizează lagărele cu rulmenți oscilanți cu două rânduri de role.

Lagărele de alunecare se construiesc cu cuzineți din bronz sau din oțel, căptușiți cu compoziție.

La concatoarele conice zona interioară a statorului și partea exterioară a rotorului vor fi căptușite, de asemenea, cu blindaje din oțel manganos. Conul fix (statorul) și suportul se execută din oțel turnat iar conul mobil din fontă cenușie sau oțel turnat.

În vederea calibrării produsului se efectuează profilarea părții inferioare a blindajului conului fix. Descărcarea materialului mărunțit se face central, după direcția axială.

Organele active ale concatoarelor cu cilindri se execută în construcție asamblată astfel: pe arborele conducător 1 (fig. 9.12) se calează corpul cilindric 2, executat din fontă cenușie.

Pe corpul cilindric 2 se montează blindajul 3 confecționat din oțel manganos sau fontă dură (albită) turnată în cochilie.

Fixarea blindajului 3 pe corpul cilindric 2 se realizează prin împănare cu ajutorul inelelor cu dublă conicitate 4, strânse cu tiranți.

Lagărele sunt prevăzute cu rulmenți cu role conice, montați în perechi. Cadrul concatorului se execută din oțel laminat în construcție sudată.

Pentru evitarea avariilor în urma prinderii unor corpuri străine de dimensiuni mari între cilindri, se prevăd dispozitive de siguranță. Prin construcția acestui dispozitiv corpul străin poate fi îndepărtat prin căderea liberă dintre cilindri, după care concatorul este pus din nou în funcțiune.

Se recomandă utilizarea de volanți și la concatoarele cu cilindri, care să contribuie astfel la uniformizarea procesului de concasare.

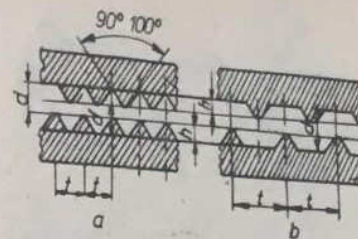


Fig. 9.11. Profilarea plăcilor de blindaj:
a - normală, b - pentru concasarea grosolomă a rocilor dure.
 $a = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot l = 125 \dots 150$ mm
la concasarea grosolomă

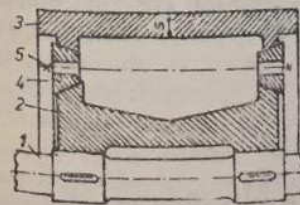


Fig. 9.12. Cilindru de concator.

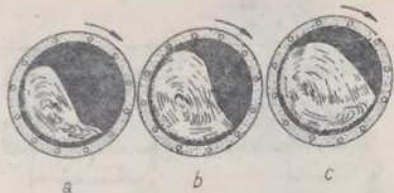


Fig. 9.13. Antrenarea corpurilor de măcinare în moară:
a - la turație mică, b - la turație mijlocie, c - la turație mare.

9.3 MORI CU TAMBUR ROTATIV

9.3.1. Rol funcțional, tipuri constructive

Procesele de mărunțire ale materialelor se încheie, de cele mai multe ori, cu o operație de măcinare.

Mașinile în care se efectuează măcinarea se numesc mori, ele fiind acționate, de cele mai multe ori, mecanic.

Morile mecanice utilizate curent sunt cele cu tambur rotativ, lucrând cu umplutură (parțială) de bile sau bare și morile cu bile vibratoare.

În interiorul tamburului rotativ, bilele sau barele sunt antrenate în mișcare de rotație, împreună cu materialul supus măcinării, fiind ridicate până la o înălțime care depinde de turație, de unde cad, sunt ridicate din nou, după care procesul se repetă. Se poate spune că materialul supus măcinării este răspândit printre bile sau bare, suferind lovituri repetate, datorită corpurilor de măcinare care cad (fig. 9.13).

Concomitent cu efectul loviturilor se adaugă cel al frecării dintre materiale și bile sau bare și dintre masa de material antrenată în mișcare și suprafața interioară a tamburului. Morile cu bile sau cu bare pot lucra uscat sau umed, în circuit închis sau deschis.

Morile cu tambur se caracterizează prin diametrul interior D , și lungimea L a acestuia. O mărime caracteristică o constituie și raportul L/D .

9.3.2. Mori cu bile cu funcționare periodică

Industria constructoare de mașini grele din țara noastră execută în mod curent mori cu bile de diferite tipuri constructive, ca mori cu bile biconice și mori tubulare. În figura 9.14 este reprezentată o moară cu bile cu funcționare periodică, cu umplere și descărcare prin gura de vizitare situată la mijlocul corpului tubular de formă cilindrică.

Acționarea tamburului rotativ se face prin intermediul coroanei dințate 7, montată chiar pe tambur, antrenată de pinionul 6, de la motorul electric 3 prin intermediul reductorului 4 și a ambreiajului 5.

9.3.3. Mori biconice

S-au construit mori biconice (fig. 9.15) pornind de la ideea adaptării diametrului bilelor la dimensionarea particulelor, care descrește de la intrare spre ieșire. Ca urmare, moara se umple cu bile de diametre diferite. Rotirea bilelor

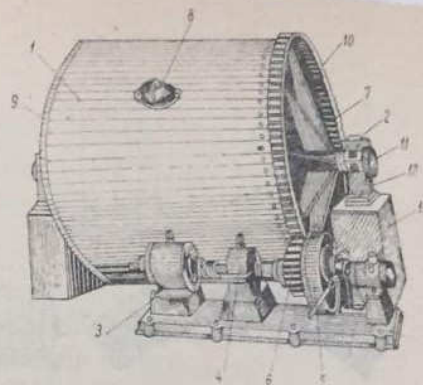


Fig. 9.14. Moară cu bile cu funcționare periodică:

1 - tambur, 2 - lagăr, 3 - motor electric, 4 - reductor, 5 - ambreiaj, 6 - pinion, 7 - coroană dințată, 8 - gură de încărcare-descărcare, 9 - capac, 10 - nervuri, 11 - ax de încărcare-descărcare, 12 - suportul lagărului.

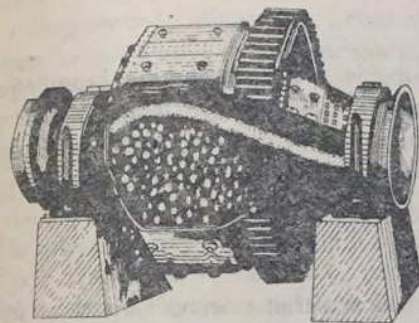


Fig. 9.15. Moară biconică.

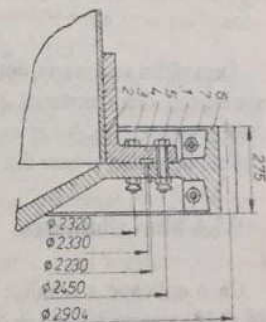


Fig. 9.16. Detaliu de fixare a coroanei dințate de acționare:

1 - mel comier (flunș), 2 - tambur, 3 - șurub, 4 - capac, 5 - șurub, 6 - coroană, 7 - șurub de prindere a jumătăților de coroană.

produce clasarea lor după diametru, cele de diametru mic fiind grupate spre deschiderea de evacuare. Din punct de vedere constructiv, lungimea corpului cilindric este $1/3 \dots 2/3$ din diametrul acestuia, iar porțiunea tronconică de intrare (seurtă) se construiește cu un unghi la vârf de 120° , iar cea de ieșire (lungă) cu un unghi la vârf de 60° .

În figura 9.16 este reprezentat un detaliu de fixare a coroanei dințate de acționare, amplasată în zona de îmbinare a corpului cilindric cu virola tronconică. Acționarea morilor cu tambur rotativ se realizează utilizând motorul electric trifazat, asincron, cu rotorul prevăzut cu înfășurare și inele de contact pentru conectare la reostat, în vederea asigurării unui moment de demarare mare la curent de pornire redus.

În ultima vreme s-a trecut la reglarea automată a procesului de măcinare în morile cu bile și cu bare, obținându-se astfel un debit maxim de granulație constantă a produsului. Corpurile de măcinare se execută, de obicei, din oțel carstantă a produsului. Corpurile de măcinare se execută, de obicei, din oțel carstantă a produsului. Corpurile de măcinare se execută, de obicei, din oțel carstantă a produsului. Corpurile de măcinare se execută, de obicei, din oțel carstantă a produsului. Corpurile de măcinare se execută, de obicei, din oțel carstantă a produsului.

Fig. 9.17. Blindaj mixt:
1 - corp, 2 - căptușeală din cauciuc de 5 mm grosime, 3 - bare metalice cu conținut de nichel, 4 - bare din lemn de mesteacăn

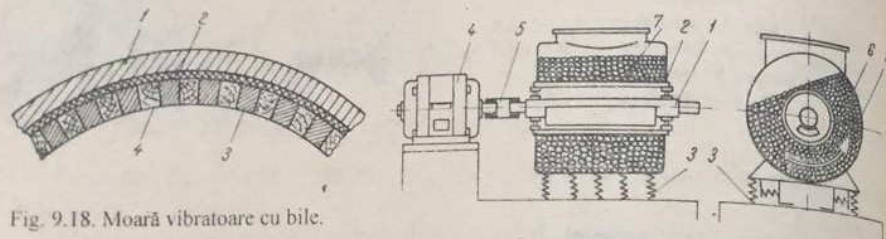


Fig. 9.18. Moară vibratoare cu bile.

Dezvoltări recente în domeniul construcției blindajelor au dus la utilizarea cauciucului drept material pentru blindaje utilizându-se cu bune rezultate și blindaje mixte (fig. 9.17) având în componența lor cauciuc, bare metalice cu conținut de nichel și bare din lemn de mesteacăn, în formă de pană.

9.3.4. Mori vibratoare

Ca o aplicație a tehnicii vibrațiilor s-au construit mori vibratoare cu bile (fig. 9.18) sau cu cilindri scurți, în interiorul cărora materialul ce urmează a fi măcinat este supus unor șocuri repetate și de asemenea, unor frecări.

Principiul de funcționare se bazează pe faptul că arborele cu masă excentrică 1 introdus într-un tub central 2 acționat de motorul 4 prin intermediul cuplajului 5 determină mișcări vibratoare, aproximativ circulare, ale corpului morii 6. Vibrațiile corpului se transmit umpluturii 7 compuse din bile sau cilindri scurți, care efectuează vibrații și în același timp, rotații în jurul axei proprii. Pot fi măcinate atât materialele dure cât și materialele moi.

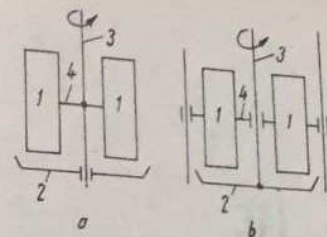
Se recomandă ca granulația materialului alimentat să nu depășească 2 mm. Turația corpului morii vibratoare cu o capacitate de 200 dm³ este aproximativ de 1 500 rot/min.

Rezemarea morii se face pe arcurile elicoidale 3, iar pentru atenuarea zgomotului și totodată evitarea uzării părților interioare ale corpului, se recurge la cauciucarea suprafețelor în contact cu materialul măcinat și bilele sau barele respective. Pe toată durata de funcționare se asigură răcirea cu apă a sistemului vibrator și a corpului morii.

9.4. MORI CU CORPURI ROSTOGOLITOARE

Măcinarea materialului se realizează prin apăsarea și strivirea acestuia de către corpurile de măcinare (role, cilindri, sfere) care se rostogolesc pe o suprafață de lucru. Strivirea poate fi rezultatul acțiunii unor resoarte (cazul morilor cu

Fig. 9.19. Schema de principiu a colergangurilor:
a - colergang cu taler fix, b - colergang cu taler rotativ, 1 - roți de măcinare, 2 - taler, 3 - ax central, 4 - axul roților de măcinare.



inel și valțuri), a forței centrifuge (morile cu bile, morile pendulare) sau a greutateii corpurilor rostogolitoare (colerganguri). La efectul de strivire se adaugă și frecarea dintre material și corpurile de măcinare.

Colergangurile, denumite și „mori chiliene”, cunoscute din cele mai vechi timpuri, se construiesc în două variante principale (fig. 9.19).

La colergangurile cu taler fix (v. fig. 9.19, a) axul orizontal se rotește solidar cu axul central de care este fixat. Pe axul orizontal sunt montate cu joc corpurile de măcinat (pietrele) care execută o mișcare de rotație în jurul axului lor și o rotație de revoluție în jurul axului central.

La colergangurile cu taler rotativ (fig. 9.19, b) axul orizontal este fix și talerul se rotește o dată cu axul central acționat de la o sursă motoare. Montate cu joc pe axele lor, pietrele execută o mișcare de rotație în jurul acestora, datorită frecării dintre ele și materialul de pe taler.

La ambele variante sunt prevăzute posibilități de modificare a spațiului dintre pietre și taler, corespunzător granulației necesare a produsului mărunțit. Colergangurile dau bune rezultate la mărunțirea materialelor dure și semidure.

10.

UTILAJE PENTRU FRAȚIONAREA GRANULOMETRICĂ A MATERIALELOR SOLIDE POLIDISPERSE

10.1. GENERALITĂȚI. CLASIFICĂRI

În numeroase procese tehnologice este necesară fie *clasarea* sau *sortarea* unor amestecuri granulare polidisperse (particule de dimensiuni diferite) fie *separarea* particulelor solide din curentul de gaze în care acestea au fost antrenate.

Prin *clasare* se înțelege separarea în fracțiuni (sau clase), diferite din punct de vedere granulometric, a unui amestec polidispers care conține un singur constituent (un singur material, de regulă). De exemplu, separarea fracțiunii de granule care depășesc o mărime limită inferioară, sau a fracțiunii de granule cu mărimi între două limite etc.

În raport cu așezarea utilajului de clasare față de mașinile de mărunțire se disting:

- *clasarea primară*, corespunzătoare amplasării înaintea mașinii de mărunțit (fig. 10.1, a),
- *clasarea intermediară* care are loc în timpul mărunțirii; de exemplu, moara cu bile lucrând în circuit închis, cu separarea pneumatică pentru evitarea supramăcinării;
- *clasarea finală*, corespunzătoare amplasării după mașina de mărunțit (fig. 10.1, b).

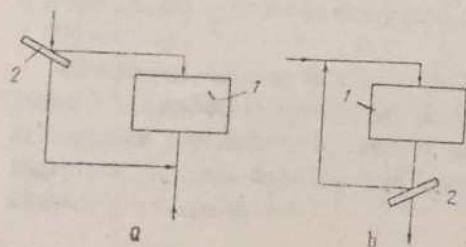


Fig. 10.1. Amplasarea utilajului de clasare față de mașina de mărunțit:

a - înaintea mașinii de mărunțit (procedeu de mărunțire în circuit deschis); b - după mașina de mărunțit (procedeu de mărunțire în circuit închis); 1 - mașina de mărunțit; 2 - utilajul de clasare.

Utilizarea clasării primare și a celei intermediare asigură un consum de energie specifică mai mic și deci un randament mai mare decât în absența acesteia. Clasarea finală asigură granulometria ce se impune.

Principial, clasarea se poate face *mecanic* (sitare, ciuruire), *pneumatic* (antrenarea particulelor mai fine într-un curent de gaz) și *hidraulic* (antrenarea cu un lichid, denumită și *elutriere*). Clasarea mecanică se face pe baza volumului granulelor (clasarea volumetrică) - trece sau nu

prin ochiurile sitei - iar clasarea pneumatică și cea hidraulică se face pe baza greutății granulelor antrenate într-un curent de fluid (clasare gravimetrică); granulele sub o anumită greutate sunt antrenate în curentul de fluid. Orientativ, diametrul granulelor poate fi între 1 și 500 mm la clasarea mecanică și sub 2 mm la clasarea hidraulică și pneumatică.

Sortarea se referă la separarea granulelor pe sorturi de constituenți, pe baza diferențelor dintre valorile constantelor fizice sau chimice (densitate, susceptibilitate magnetică, solubilitate, afinitate chimică etc.). De exemplu, prin flotaj se separă componentele minerale utile de „steril”, din materiile pentru fabricarea unor produse ca ciment, sticlă etc. Cu ajutorul separatoarelor electromagnetice se îndepărtează bucățile de material magnetic dintr-un ansamblu granular de material nemagnetic etc.

10.2. MAȘINI PENTRU CLASAREA MECANICĂ

Aceste mașini poartă în mod generic, numele de *ciururi* și au ca organ principal *sita* (plană sau curbată) - prevăzută cu *ochiuri* (orificii) pătrate, circulare sau dreptunghiulare - sau *grătarul*.

Pentru ca procesul de clasare să aibă loc este necesar ca ansamblul granular să se deplaseze în raport cu suprafața sitei. În acest scop sita este supusă unui anumit mod de mișcare.

Din materialul alimentat, care are granulație diferită, se obțin două clase (sorturi): *refuzul* (produsul superior*) care nu trece prin ochiurile sitei și *cernutul* (produsul inferior, trecut prin sită), format din particule cu dimensiuni mai mici decât ochiurile sitei; la trecerea prin n site succesive se obțin $n + 1$ fracțiuni de particule.

10.2.1. Organul activ al mașinii

Organul activ al unei mașini pentru clasare este format dintr-una sau mai multe *site* (din țesătură metalică sau - mai rar - textilă sau din tablă perforată) sau dintr-un *grătar* asamblat din bare metalice.

a) *Sitele din tablă perforată* (fig. 10.2, a). Se obțin prin ștanțarea unor table; au găurile circulare, pătrate, ovale, hexagonale sau dreptunghiulare. Diametrul orificiilor ștanțate este, în general de peste 3 mm. Găurile circulare sau pătrate sunt dispuse după o rețea pătrată sau hexagonală. Pasul dintre găurile circulare $t = (1,25-1,5)d$ (v. fig. 10.2, a). Grosimea tablei - pentru a se putea face perforarea - este orientativ, $s \leq (0,6-0,7)d$.

Pentru a ușura trecerea granulelor și a evita infundarea ochiurilor sitei, găurile circulare se fac evazate cu unghiul la vârf de 14° (fig. 10.2, b); la sitele cu găurile alungite, acestea se orientează în direcția de mișcare a materialului.

* Produs „superior” sau „inferior” - se referă la poziția față de sită.

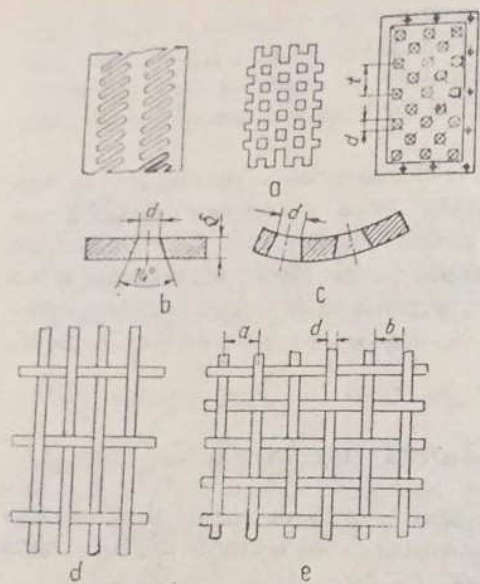


Fig. 10.2. Organul activ al ciurului (tipuri constructive de site).

reduce uzura părților proeminente ale sitei și a realiza o suprafață cât mai apropiată de cea plană, sita din țesătură este *întinsă*; cadrul pe care se fixează sita este prevăzut cu dispozitive speciale de fixare și de întindere.

Firele pentru site se prevăd, după caz, din *materiale metalice* (oțel carbon, oțel aliat sau înalt aliat, cupru, bronz, alamă etc.) sau *nemetalice* (fibră textile, elastomeri, materiale plastice, păr de cal etc.).

c) *Grătarele*. Acestea sunt formate din bare paralele echidistante, de o anumită secțiune (circulară, triunghiulară, trapezoidală etc.) fixate pe tije transversale prevăzute cu distanțiere. Secțiunea liberă realizată, precum și faptul că fantele sunt evazate spre partea inferioară, permit trecerea ușoară a materialului.

10.2.2. Tipuri constructive de ciururi

Având în vedere criteriile constructive și funcționale, clasificarea diferitelor tipuri de ciururi se prezintă în felul următor:

a) după *mobilitatea sitei*:

- fixe;
- mobile.

b) după *forma suprafeței sitei*:

- plană (dreptunghiulară, circulară);
- curbă (cilindrică, tronconică);
- poliedrică;

Sitele din tablă perforată se execută, după caz, din tablă de oțel carbon, oțel slab aliat sau anticoroziv, bronz, alamă, aliaje de aluminiu, nichel, titan etc.

b) *Sitele din țesătură*. Se execută din fire sau - mai rar - din platbande sau profiluri speciale. Acestea se utilizează, în general, pentru cernerea granulelor cu dimensiuni sub 25 mm. În mod obișnuit ochiurile sitelor au formă dreptunghiulară (îndeosebi pentru clasarea materialelor umede) sau pătrată (fig. 10.2, *d* și *e*). Un dezavantaj important al acestor site îl constituie neuniformitatea suprafeței, ceea ce poate duce la rapida înfundare și uzare a sitei, precum și la îndepărtarea, între ele, a firelor țesăturii. Pentru a

c) după *tipul constructiv al sitei*:
 - cu țesătură;
 - cu tablă perforată;
 - cu grătar.
 d) după *caracterul mișcării* (ciururi mobile):

- rotative (fig. 10.3);
 - oscilante (fig. 10.5);
 - vibratoare (fig. 10.6).
 Ciururile cu mai multe site se clasifică și în funcție de așezarea reciprocă a acestora, care poate fi:

- așezare *suprapusă*, la care sita superioară are ochiurile cele mai mari (fig. 10.4, *a*).
 - așezare *succesivă*, la care prima sită are ochiurile cele mai mari sau cele mai mici (fig. 10.4, *b*);
 - așezare *mixtă*, la care prima sită are ochiuri de dimensiune mijlocie, în continuare sunt site cu dimensiuni mai mari, iar dedesubtul primei site sunt site cu ochiuri din ce în ce mai mici (fig. 10.4, *c*).

Așezarea suprapusă are următoarele *avantaje*: uzare redusă a sitelor inferioare pe care nu ajunge întreaga cantitate de material; bucățile mari de material sunt repede îndepărtate din ciur; construcție compactă. Ca *dezavantaje* ale așezării suprapuse se menționează: controlul dificil al uzării sitelor inferioare și volum de muncă mai mare la înlocuirea acestora; descărcarea diferitelor fracțiuni în aproape același loc, ceea ce creează unele dificultăți în organizarea fluxului tehnologic. Așezarea mixtă înlătură parțial aceste dezavantaje.

Ciururile plane, oscilante și vibratoare, sunt cele mai răspândite în prezent. Datorită eficacității lor sporite, ciururile vibratoare tind să înlocuiască în prezent, celelalte tipuri de ciururi.

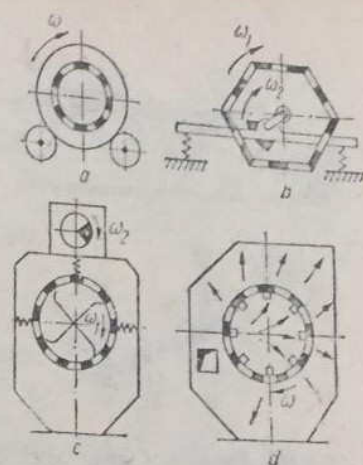


Fig. 10.3. Ciururi rotative (schite).
 a - cu sită cilindrică, b - cu sită poliedrică și cu mișcare vibratorie, c - cu sită cilindrică fixă și cu mișcare vibratorie, d - cu sită cilindrică și cu jet de aer.

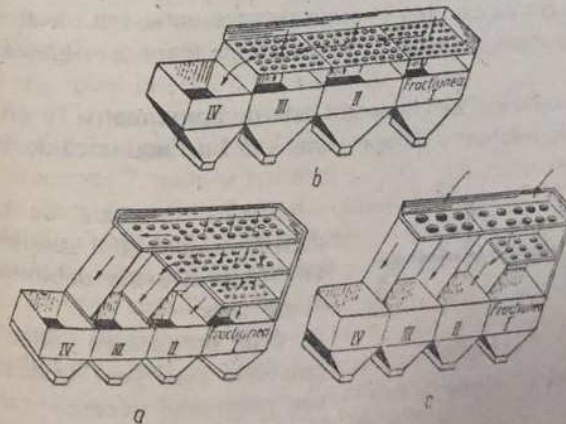


Fig. 10.4. Moduri de așezare reciprocă a sitelor.

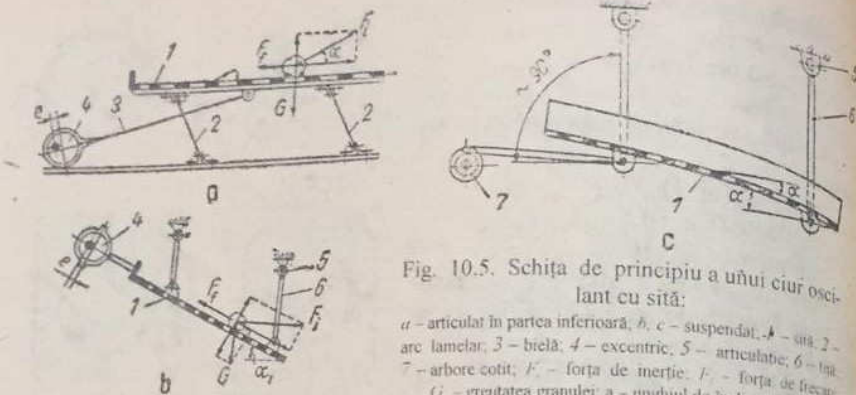


Fig. 10.5. Schița de principiu a unui ciur oscilant cu sită:

a - articulat în partea inferioară, *b*, *c* - suspendat, *A* - sită, 2 - arc lamelar, 3 - bielă, 4 - excentric, 5 - articulare, 6 - tijă, 7 - arbore cotit, *F* - forța de inerție, *f* - forța de frecare, *G* - greutatea granulei, α - unghiul de înclinare a sitei

Ciurul oscilant. Cadrul sitei ciurului oscilant (fig. 10.5) efectuează o mișcare forțată; între cadrul sitei și mecanismul motor legătura este rigidă; mărimea oscilațiilor este constantă și independentă de viteza și de mărimea materialului granular sau de încărcarea sitei.

Ciururile oscilante sunt formate din: una sau mai multe site (suprapuse); dispozitiv de acționare cu excentric sau cu arbore cotit, care produce oscilații (rectilinii, circulare sau eliptice) în planul sitei sau perpendicular pe sită, elemente de susținere a ramei sitei, arcuri lamelare înclinate (2, fig. 10.5, *a*) sau verticale, sau tije de suspendare (6, fig. 10.5, *b*).

Disponerea sitei și a acționării trebuie să asigure deplasarea granulelor spre evacuare.

Materialul care cade pe sită este cernut prin împrăștiere pe întreaga suprafață a sitei, datorită mișcărilor oscilatorii ale ciurului. Cernutul cade prin ochiuri iar refuzul se deplasează de-a lungul sitei datorită înclinației ($10-15^\circ$) și este dirijat spre mașina de mărunțit.

Ciururi vibratoare. Ciururile vibratoare nu sunt prevăzute cu o legătură cinematică rigidă între mecanismul motor și cadrul ciurului; ele pot fi cu ramă vibrantă (fig. 10.6) sau cu ramă fixă și cu suprafața de cernere vibrantă. Mecanismul de vibrație poate fi mecanic (cu excentric), pneumatic sau electromagnetic. Aceste ciururi se caracterizează prin frecvență mare a vibrațiilor și amplitudine mică.

Puterea necesară acționării sitei vibratoare este de aproximativ 10 ori mai mică decât cea de la sitele rotative și de aproximativ 2,5 ori mai mică decât cea de la sitele oscilante.

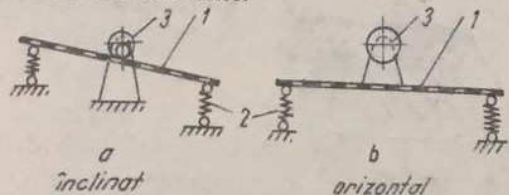


Fig. 10.6. Schema de principiu a ciururilor cu ramă vibrantă:

1 - rama vibrantă, 2 - arcuri, 3 - arbore excentric

Sitele vibratoare au trepidații mici, însă sunt sensibile la vibrații bruște ale debitului de alimentare.

Prin producerea vibrațiilor, granulele mari sunt aruncate în sus, permițând trecerea granulelor mai mici prin ochiurile sitei.

În figura 10.6 este redată schema de principiu a ciururilor cu site și cu ramă vibrantă 1, susținută pe arcurile de oțel 2. Aceste rame sunt acționate prin intermediul unui arbore cu excentric 3, așezat în centrul de masă al ramei.

10.3. UTILAJE PENTRU SEPARARE PNEUMATICĂ

Separarea pneumatică, în curent de aer, permite obținerea unor fracțiuni mai fine decât cernerea (mecanică). Separatoarele de aer se cuplează adeseori nemijlocit cu utilajele de măcinare, astfel ca produsul ajuns la finețea necesară să fie evacuat continuu; măcinare în circuit închis. Clasarea în acest caz se face pe baza diferenței dintre vitezele de plutire ale particulelor de dimensiuni diferite, antrenate într-un curent de aer (de gaze etc.).

Avantajele separatoarelor cu aer (posibilitatea uscării sau răcirii materialului măcinat, randament de separare mare, posibilitatea reglării fineței produsului mărunțit etc.) au determinat realizarea unei mari diversități de tipuri constructive.

În principiu, la toate separatoarele, depunerea fracțiunii grosolane se obține prin micșorarea succesivă a vitezei curentului de aer și prin schimbarea bruscă a direcției acestuia.

Deși unele dintre tipurile constructive de separatoare nu au elemente în mișcare (*nu sunt deci mașini*), pentru punerea în temă se expune în continuare schița de principiu a unui separator pneumatic cu trecerea directă (fig. 10.7) care servește la separarea unor particule de dimensiuni determinate, dintr-o dispersie gazoasă (gaz-solid). Amestecul de gaz (sau aer) cu particule solide fin dispersate intră prin tubul inferior 6, cu viteza de 15-20 m/s, se lovește de conul 5, pierde din viteză și, ca urmare, particulele cele mai mici cad pe jgheabul 7. În continuare, dispersia gazoasă cu viteză redusă trece prin conurile 3 și 4, printre paletele directoare 2, unde-și schimbă direcția și primește o mișcare de rotație care-i dă un efect de ciclon favorabil separării fracțiunii fine; în consecință, gazul pierde din viteză iar particulele solide cad pe peretele tronconic 3, de unde sunt evacuate în jgheabul 7. Dispersia gazoasă conținând particule foarte fine (praf) părăsește separatorul cu viteza de 4-6 m/s, prin tubul 8 și intră într-un ciclon.

Finețea separării se reglează cu ajutorul paletelor directoare 2, care prin intermediul unui inel de comandă și al manetei 1, pot fi aduse sub un unghi determinat față de direcția radială. Pierderea de presiune între intrarea și ieșirea din separator este de 685-980 Pa (70-100 mm H₂O).

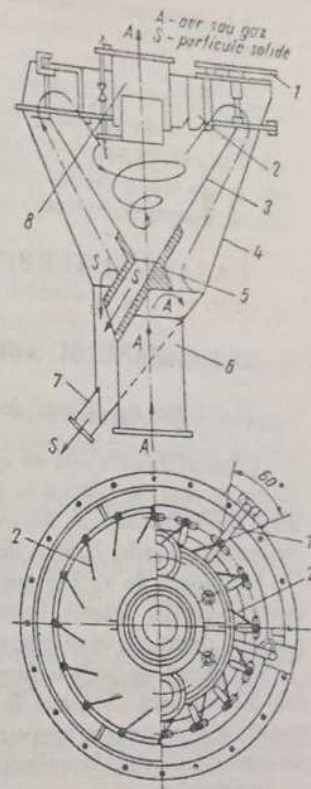


Fig. 10.7. Separator pneumatic cu trecere directă.

11.

CAZANE ȘI TURBINE CU ABUR

11.1. CAZANE DE ABUR

11.1.1. Rol funcțional, descriere, părți componente

Cazanul de abur este un agregat în care apa, sub acțiunea căldurii, se transformă în abur, în general la o presiune superioară presiunii atmosferice, acest abur fiind întrebuințat fie în scopuri energetice sau tehnologice, fie pentru încălzirea clădirilor industriale și civile.

Din punct de vedere energetic, cazanul de abur este un transformator de energie, energia latentă, legată chimic, a combustibililor, se transformă, prin procesul de ardere, în energie termică.

Din punct de vedere funcțional, cazanul de abur este un schimbător de căldură. Căldura conținută în gazele rezultate din arderea combustibililor se transmite apei care se vaporizează, aburului care se supraîncălzește și aerului necesar arderii, care se preîncălzește.

Instalația de cazane cuprinde agregatul de cazane și toate utilajele auxiliare ca: aspiratoare de fum, ventilatoare de aer, conducte de aer și conducte de abur.

Agregatul de cazane este un ansamblu care cuprinde, ca elemente principale: cazanul propriu-zis cu armăturile respective, focarul cu dispozitivele lui, supraîncălzitorul de abur, economizorul, preîncălzitorul de aer și scheletul metalic cu zidăria.

În figura 11.1 este reprezentat schematic un agregat de cazane compus din două sisteme de instalații: instalația de ardere și de tiraj și instalația de vaporizare.

Instalația de ardere și de tiraj este formată dintr-un focar cu utilaje ce deservește arderea, canalele de evacuare ale gazelor arse și coșul de fum. În focar are loc arderea combustibilului și transmiterea căldurii dezvoltate, prin radiație, la suprafețele de încălzire ale cazanului montate în focar.

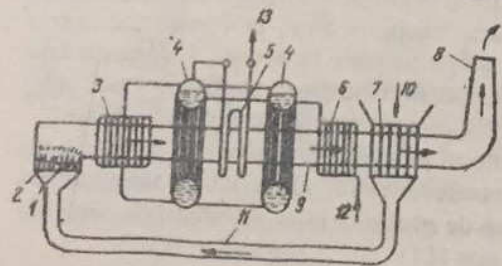


Fig. 11.1. Schema unui agregat de cazan
1 - gratar, 2 - combustibil, 3 - partea de radiație a cazanului; 4 - părțile de convecție, 5 - supraîncălzitor, 6 - economizor, 7 - preîncălzitor, 8 - coș, 9 - canalul gazelor arse, 10 - intrarea aerului, 11 - conductă pentru preîncălzire, 12 - intrarea apei de alimentare, 13 - prize aburului supraîncălzit.

Gazele rezultate din ardere sunt dirijate prin canalele de fum așezate de-a lungul suprafețelor de încălzire, unde, prin contact direct, cedează acestora căldura lor.

Astfel, gazele arse, care în focar au o temperatură de 1 000–2 000°C ajung în canalul final, după ce au trecut prin economizor și preîncălzitor, cu o temperatură de 180 ... 200°C. Datorită diferenței dintre temperatura gazelor arse din coș și temperatura aerului atmosferic se produce tirajul. Prin tiraj se înțelege deplasarea gazului dintr-o conductă, datorită unei diferențe de presiune, între cele două extremități ale ei.

Instalația de vaporizare cuprinde:

- cazanul propriu-zis, care se compune din tambure și țevi, în interiorul cărora circulă apa de alimentare sau gazele de ardere;
- supraîncălzitorul, care are rolul de a transforma aburul umed, produs în cazan, în abur uscat;
- economizorul, care are rolul de a încălzi apa de alimentare înaintea introducerii în cazan; el se montează în drumul gazelor fierbinți pe canalele de evacuare a gazelor arse;
- preîncălzitorul de aer, care are rolul de a preîncălzi aerul necesar arderii combustibilului în focar.

Pentru mărirea siguranței de funcționare și simplificarea exploatarei, toate procesele de funcționare ale unui cazan (alimentarea cu apă, conducerea focului etc.) se automatizează.

Un cazan de abur modern este compus, în general, din următoarele subsambluri și instalații auxiliare care, împreună, asigură funcționarea acestuia, și anume:

- suprafețele de încălzire și de vaporizare a apei (sistemul fierbător) formate din tambur, țevi, fierbătoare și economizor;
- suprafețele de supraîncălzire a aburului;
- instalațiile de preparare a combustibilului (uscare, măcinare etc.) și de alimentare cu combustibil;
- instalațiile de ardere;
- instalațiile circuitului aer-gaze de ardere;
- instalația pentru captarea și evacuarea cenușii și a zgurei;
- construcția metalică de susținere;
- înzidirea și izolarea termică;
- conductele și armăturile;
- aparatele de măsură, control și siguranță;
- instalația de funcționare automată.

11.1.2. Parametrii principali ai cazanelor de abur

Cazanele de abur sunt caracterizate prin următorii parametri de bază: presiunea și temperatura aburului, debitul de abur și temperatura apei de alimentare.

- *Presiunea nominală* (p_n) reprezintă presiunea maximă admisă a aburului, măsurată la ieșirea din robinetul principal de abur, în condițiile debitului nominal și temperaturii nominale a cazanului.

– Presiunea maximă (p_{max}) reprezintă presiunea maximă a aburului admisă în elementele cazanului care se ia în considerație la calculul de rezistență. La cazanul cu tambur această presiune se consideră în tambur.

– Presiunea de regim (p_{reg}) reprezintă presiunea efectivă a aburului măsurată la ieșirea din robinetul principal de abur, impusă de cerințele exploatareii. Presiunea nominală maximă și cea de regim se măsoară în MPa.

– Temperatura nominală (t_n) reprezintă temperatura aburului, măsurată la ieșirea din robinetul principal de abur, la debitul nominal și presiunea nominală; la cazanele cu regulator de temperatură, temperatura nominală se poate obține și la debite de abur mai reduse ($^{\circ}\text{C}$).

11.1.3. Tipuri principale de cazane de abur

Tipurile constructive de cazane de abur sunt foarte numeroase. Ele depind de presiunea, temperatura, debitul unitar de abur, felul și caracteristicile combustibilului, prețul acestuia, numărul orelor de utilizare anuală a debitului nominal de abur, regimul de funcționare (numărul de opriri și variația debitului de abur), gradul de mecanizare și automatizare, precum și condițiile de climă ale locului de amplasare și caracteristicile vecinătăților acestui amplasament.

Mai jos se descriu unele tipuri de cazane de abur mai des folosite.

În general, cazanele cu țevi de apă se compun dintr-unul sau mai multe tambure și dintr-o serie de țevi, prin care circulă apa și aburul. După modul de circulație a apei, aceste cazane pot fi: cu circulație naturală, forțată și cu străbateră forțată.

Cazane ignitubulare. Cazane ignitubulare cu tuburi de flacără. Cazanele cilindrice cu unul, două sau mai multe tuburi interioare de flacără se numesc cazane ignitubulare.

Cazanul ignitubular cu un singur tub de flacără (fig. 11.2) se compune din corpul cilindric 1, alcătuit din virole de tablă și două funduri bombate. Tubul de flacără 2 trece prin mijlocul spațiului de apă al cazanului de la un fund la celălalt. Grătarul focarului 4 este montat în interiorul tubului de flacără. Datorită solicitărilor termice mari, tubul de flacără se execută din tablă ondulată sau cu inel de dilatație, pentru a se evita deformațiile permanente, datorită dilatației.

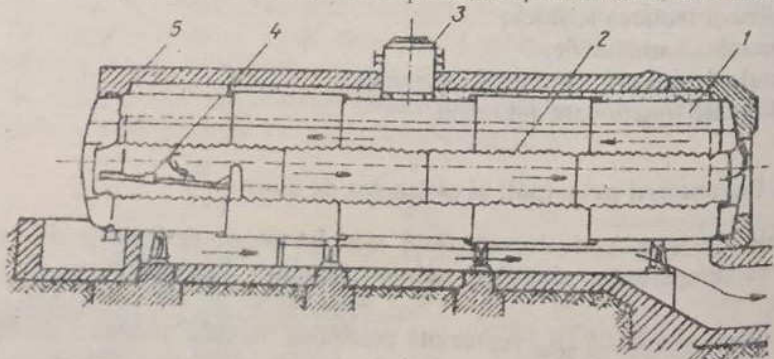


Fig. 11.2. Cazan ignitubular cu un singur tub de flacără tip Cornwall:
1 – corp, 2 – tub de flacără, 3 – dom, 4 – grătarul focarului, 5 – zidărie.

Gazele arse trec prin tubul de flacără, apoi de-a lungul pereților laterali superiori și inferiori ai cazanului, udați în interior cu apă. Apa circulă în spațiul liber al tamburului, amestecul abur-apă producându-se pe lângă pereții cazanului care se încălzesc mai mult. Aburul format din cazan se pe lângă pereții cazanului care se încălzesc mai mult. Aburul format din cazan este separat de picăturile de apă în spațiul 3, denumit dom, și evacuat la consumator. Corpul cilindric se izolează termic prin înzidirea 5 sau prin izolația de vată minerală. Cazanele cu tuburi s-au menținut în cursul dezvoltării și perfecționării instalațiilor de cazane, datorită avantajelor pe care le prezintă, și anume:

- construcție simplă și compactă;
- volum mare de apă (220 l/cm^2);
- deservire, reparare și curățirea suprafețelor interioare simple.

Cazane ignitubulare cu țevi de fum. Prin mărirea numărului tuburilor de flacără și de fum și reducerea diametrului lor s-au obținut cazanele ignitubulare cu țevi de fum. Cel mai simplu cazan de acest tip este alcătuit dintr-un tambur cilindric în interiorul căruia sunt montate țevi de fum.

Cazanele acvatubulare. Agregatele de cazane acvatubulare actuale se construiesc cu o suprafață de încălzire până la $6\,000 \text{ m}^2$, pe o suprafață de teren restrânsă, și anume, $20 \dots 30 \text{ m}^2$ de suprafață de încălzire pentru un metru pătrat de teren ocupat. Aburul se produce la temperaturi și presiuni medii depășind 12 MPa .

Cazane pentru centrale electrice nucleare. Sursa de căldură a acestor cazane de abur fără focare este agentul de răcire al reactorului nuclear. Pentru suprîncălzirea aburului, aceste cazane sunt prevăzute cu un focar separat, deoarece temperatura sursei de căldură este prea scăzută. În ultimul timp, se execută construcții de reactoare nucleare, în care temperatura admisibilă în barele de uraniu poate fi ridicată prin utilizarea unor materiale de protecție a barelor de uraniu rezistente la temperaturi mai ridicate, ceea ce permite obținerea unei supraîncălziri a aburului asemănătoare cu cea a cazanelor obișnuite cu focar.

Armăturile cazanelor de abur. Pentru o exploatare normală, sigură și economică și în conformitate cu instrucțiunile oficiale, orice cazan de abur trebuie să fie prevăzut în mod obligatoriu cu armături, dispozitive și AMC pentru supravegherea și controlul nivelului apei din cazan, presiunii și temperaturii, analizoare de gaze etc.; armături și dispozitive pentru alimentarea cu apă a cazanului; armături pentru distribuirea aburului; armături pentru purjarea și golirea cazanului.

Orice cazan de abur trebuie prevăzut cu cel puțin două supape de siguranță, independente. Supapele de siguranță pot fi cu contra-greutate, cu arc sau cu impuls. Dintre cele două supape, cu care trebuie să fie echipat cazanul, una este denumită *supapă de control*, iar cealaltă *supapă de lucru*.

Automatizarea instalației de cazane de abur. Automatizarea prezintă importante avantaje tehnice, economice și sociale. Astfel, automatizarea asigură calitatea aburului (presiune și temperatură constante), permite o precizie și o fidelitate mult mai mare în executarea comenzilor, ridică randamentul instalațiilor, mărește siguranța de funcționare, reduce cazurile de avarii, micșorează

uzura, prelungind astfel durata de funcționare a utilajelor și realizând economii de materiale și materii prime, permite reducerea numărului personalului de exploatare, ușurează și îmbunătățește condițiile lui de muncă etc.

Automatizarea instalației de cazane se realizează printr-un complex de dispozitive care au drept scop să regleze, să comande, să protejeze și să controleze instalația respectivă.

11.2. TURBINE CU ABUR

11.2.1. Funcționarea turbinelor cu abur

Turbina cu abur (fig. 11.3) este o mașină în care energia potențială a aburului (energia termică) este transformată, în ajutoare, în energie cinetică (viteză), iar aceasta este transformată în paletă, în energie mecanică de rotație a arborelui. Arborele turbinei este cuplat cu arborele unei alte mașini care utilizează energia mecanică (compresor, suflantă, pompă etc.), sau cu arborele unui generator de curent electric, în care energia mecanică este transformată în energie electrică.

Modul de funcționare al turbinei de abur este, pe scurt, următorul (fig. 11.4).

Prin ventilul principal al turbinei, aburul ajunge la ventilele automate pentru admisie și reglare 1, pătrunzând apoi în ajutoarele 2. Ajutoarele sunt canale profilate, în care are loc transformarea energiei potențiale a aburului în energie cinetică. Vâna de abur, ieșind cu viteză mare din ajutoare, lovește paletelile mobile 3, fixate pe rotorul turbinei pe care îl învârtă. Paletelile mobile sunt fixate pe discurile 5 sau pe un tambur și sunt dispuse radial pe toată circumferința, în mai multe rânduri, după puterea turbinei.

Tamburul sau discurile sunt fixate pe arborele turbinei 6, care se sprijină pe două lagăre 7. Arborele, tamburul sau discurile și cu paletelile mobile alcătuiesc rotorul turbinei, adică piesele care se rotesc sub acțiunea impulsului primit de la vâna de abur.

Din primul rând de paletă mobile 3, aburul pătrunde în primul rând de paletă fixe 4 (numite și paletă directoare) care sunt fixate la carcasa turbinei 3 (statorul). În paletelile directoare, aburul își schimbă sensul, pentru a intra apoi în șirul următor de paletă mobile, în același sens pe care l-a avut și la primul șir de paletă mobile.

Două rânduri de paletă vecine, fixate respectiv la stator și pe rotor, formează o treaptă sau un etaj. După ce străbate pe rând toate rândurile de paletă mobile și fixe, aburul pătrunde în condensatorul 10. Condensatorul este un cilindru mare, în interiorul căruia se află foarte multe țevi de alamă, prin care circulă apa de răcire. Venind în contact cu aceste țevi reci, aburul se condensează.

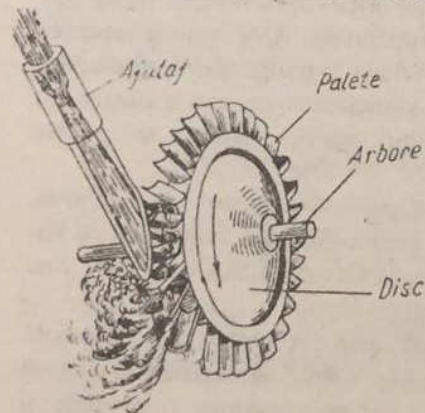


Fig. 11.3. Schema celei mai simple construcții de turbină cu acțiune.

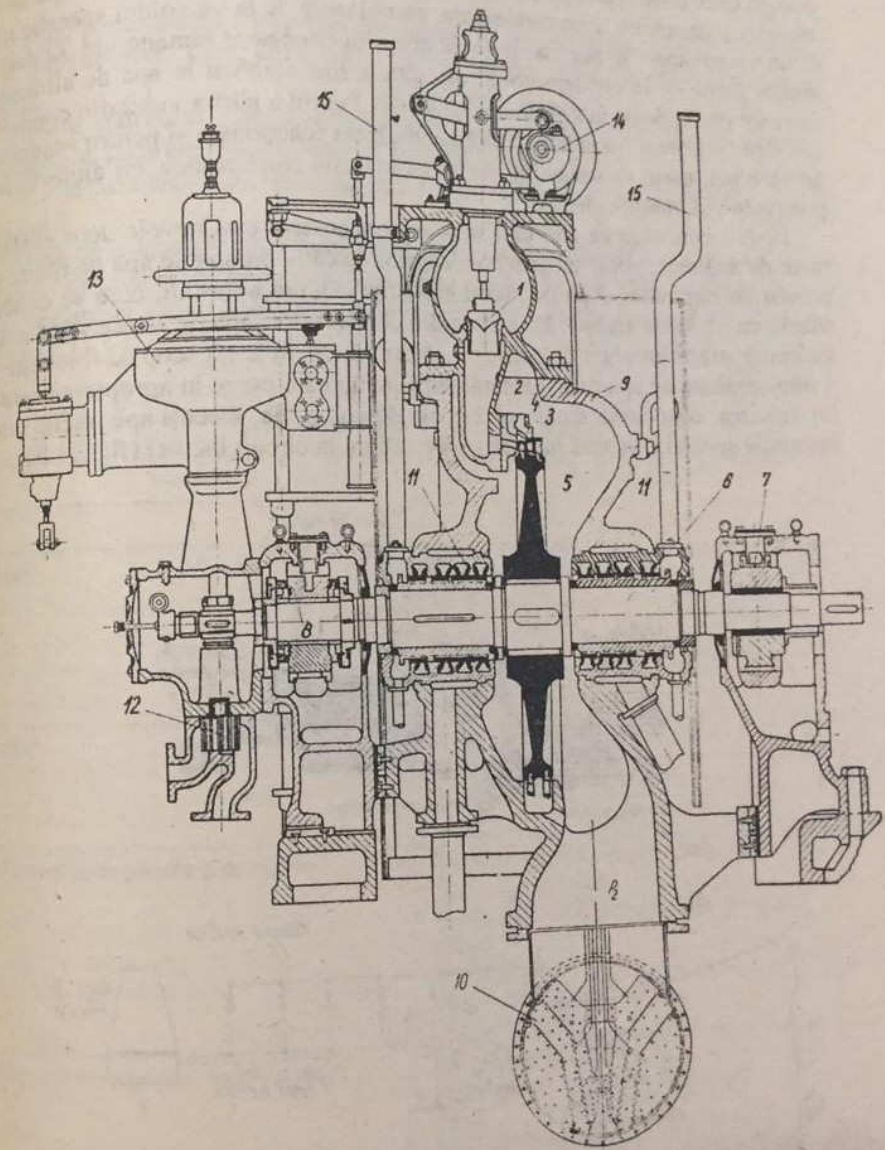


Fig. 11.4. Secțiune longitudinală printr-o turbină cu abur:
1 - ventil de admisie și reglare; 2 - ajutor; 3 - paletă mobilă; 4 - paletă directoare; 5 - disc; 6 - arbore; 7 - lagăr radial; 8 - lagăr radial-axial; 9 - carcasă; 10 - condensator; 11 - labirint; 12 - pompă de ulei; 13 - regulator; 14 - arbore cu came; 15 - conducte pentru evacuarea aburului din labirint.

Apa condensată cade la fundul condensatorului, de unde este aspirată de o pompă centrifugă – pompa de condensat – și trimisă în rezervorul de apă de alimentare a cazanelor. Prin condensare, aburul trece de la un volum specific mare la un volum specific mic, iar în locul aburului condensat rămâne vid. O dată cu aburul pătrunde în condensator și aer, care a fost dizolvat în apa de alimentare sau care pătrunde pe la diferite neetanșități. Pentru a păstra vidul din condensator, fapt care are o mare importanță pentru buna funcționare și pentru randamentul turbinei, aerul se scoate în mod continuu din condensator, cu ajutorul unei pompe în vid, numită *ejector*.

Pentru condensarea aburului sosit în condensator este nevoie de o cantitate mare de apă rece, pompată prin condensator de către pompa de apă de răcire sau pompa de circulație. Apa de răcire absoarbe căldura aburului, care se condensează, iar ea se încălzește. La ieșirea din condensator, apa de răcire fiind caldă, nu mai poate fi întrebuințată din nou pentru răcire. În acest scop se folosește fie o nouă cantitate de apă rece, captată dintr-un râu care curge în apropierea centralei (răcirea condensatoarelor în circuit deschis), fie aceeași apă, răcită într-o instalație specială, numită *turn de răcire* (răcire în circuit închis) (fig. 11.5).

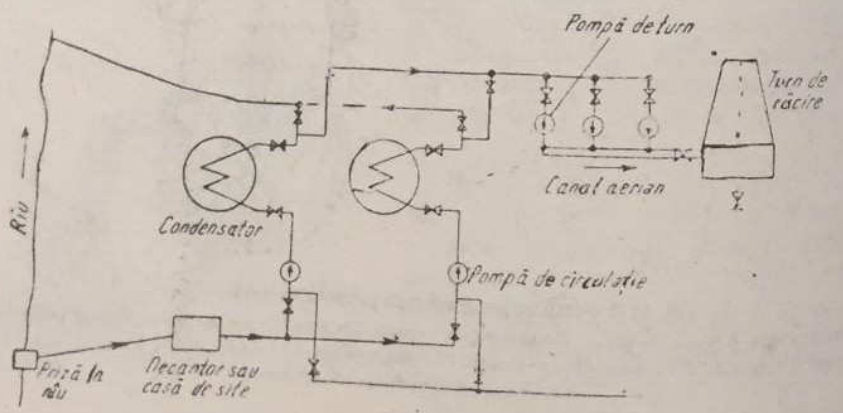
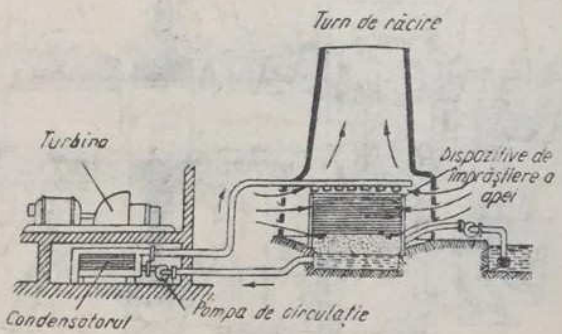


Fig. 11.5. Instalație de turbină cu condensare

11.2.2. Părțile componente ale turbinelor cu abur

Părțile componente ale turbinelor cu abur pot fi împărțite în două mari categorii: *părțile fixe*, care alcătuiesc statorul și *părțile mobile*, care alcătuiesc rotorul.

Piesele statorului sunt următoarele: carcasa, ajutajele, paletel directoare, diafragmele, lagărele radiale, lagărele axiale și labirinturile.

Piesele care alcătuiesc rotorul sunt: arborele, discurile, tamburul, paletel și cuplajul.

Afară de stator și rotor, turbinele cu abur mai au următoarele piese și dispozitive: dispozitivele de pornire, de reglare și de protecție, dispozitivele de ungere, reglare și răcire, instalație de condensare și aparate de măsură și control (tabel 11.1).

Tabelul 11.1

Părțile componente ale turbinei cu abur

Subansamblu	Părțile componente
1	2
Stator	Carcasă Ajutaje Paletel directoare Diafragme Lagăre (radiale, axiale) Labirinți
Rotor	Arbore Discuri (tamburi) Paletel Cuplaje
Dispozitive de pornire și de reglare	Ventil principal de admisie a aburului Dispozitive de pornire Robinete cu ventil pentru admisie și reglare Regulator Servomotoare Organe de acționare Sincronizator
Dispozitive de ungere, reglare și răcire	Rérezvor de ulei Pompe de ulei (principale, auxiliare) Filtru Reductor de presiune Răcitor de ulei Conducte
Dispozitive de protecție	Regulator de limită de viteză Ventil de închidere rapidă Relee de deplasare axială Regulatoare pentru pornirea automată a turbinei Supape de evacuare în atmosferă

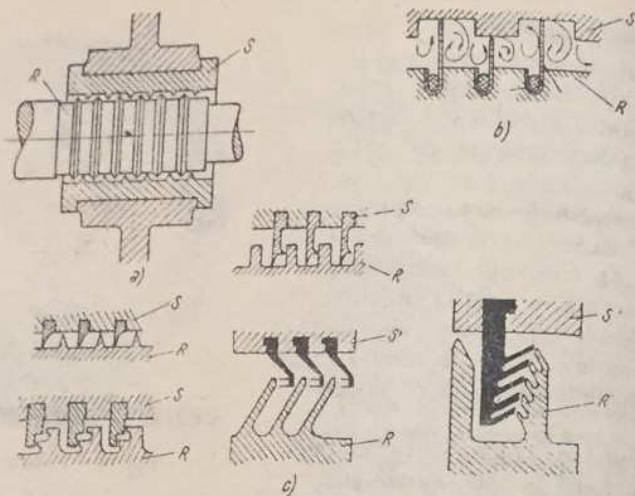


Fig. 11.8. Labirinți:

a - ansamblul arbore-labirint, b - camere de labirint, c - diverse tipuri de labirinți.

Fundații și postamente. Turbogeneratoarele se fixează pe fundații speciale, care se compun din cadre de beton armat și dintr-un postament cu rama respectivă.

Postamentul se așează direct pe placa de fundație.

Între fundația turbogeneratorului și planșeul sălii turbinelor se lasă un mic spațiu de 10–15 mm, pentru a împiedica propagarea vibrațiilor turbogeneratorului.

Robinetele cu ventil pentru reglare servesc pentru reglarea cantității de abur admisă în ajutaje, în funcție de sarcina generatorului, deci a turbinei cu care este cuplat.

În mod obișnuit, turbinele au trei până la cinci robinete pentru reglare.

Regulatorul de limită de viteză (declanșatorul automat de siguranță). Turbogeneratorul are o viteză constantă, de obicei 3 000 rot/min, pentru care sunt calculate toate elementele grupului. Mărirea acestei turații peste o anumită limită (de obicei cu 10–12% mai mare decât turația de regim) poate avaria grav întregul grup turbogenerator, din cauza forțelor centrifuge suplimentare care apar.

Pentru a împiedica acest lucru, turbina este prevăzută cu un regulator limitator de viteză (numit și declanșator automat), care comandă închiderea instantanee a ventilului de pornire, când s-a depășit turația limită.

11.2.2.2. Rotorul

Arborele, discurile și tamburul. Rolul arborelui este să susțină rotorul, asigurând păstrarea intervalelor între paletelile rotorului și ale statorului. Arborele primește prin intermediul paletelor și al tamburului forța aburului și o transmite sub formă de cuplu motor generatorului electric, pompei centrifuge sau suflantei cu care este cuplat.

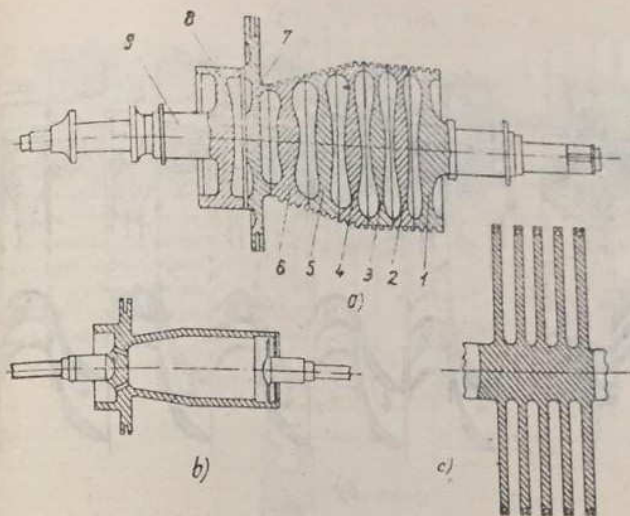


Fig. 11.9. Tipuri de rotoare de turbină:

a - rotor executat prin sudare, b - rotor cu tamburul gol în interior, c - rotor cu discuri strunjite.
1-6 - discurile paletelor de reacțiune, 7 - discul treptei de reglare, 8 - pistonul de echilibrare (Dumis), 9 - arborele.

Pentru construcția arborilor se întrebunțează oțeluri de foarte bună calitate. Paletelile rotorului sunt fixate la extremitatea unor discuri sau pe un tambur. Discurile și tamburul se execută ca piese independente, care se fixează pe arbore.

Tamburele cu diametre mari se execută adesea prin sudare, fie prin discuri separate, fie goale în interior (fig. 11.9).

În cazul turbinelor cu reacțiune și al turbinelor combinate, dacă diametrul tamburului este mic, el se execută dintr-o piesă masivă, forjată în formă de arbore îngroșat. Paletelile active se fixează direct pe tambur (fig. 11.9, b).

Rotorul turbinelor cu acțiune este format dintr-un arbore prevăzut cu discuri, pe care se fixează paletelile. Rotoarele care funcționează în zone cu temperaturi înalte și care au diametre relativ mici se confecționează deseori dintr-un bloc forjat cu discurile strunjite (fig. 11.9, c).

Paletelile (fig. 11.10). Paletelile rotorice transformă energia cinetică a aburului în lucru mecanic (de rotație) la arborele turbinei.

Paletelile sunt de două feluri: palete cu acțiune, în care forța de la periferia rotorului care produce cuplu motor este datorită lovirii aburului în palete, și palete cu reacțiune, în care forța este datorită atât lovirii aburului în palete cât și creșterii vitezei aburului între palete.

Paletelile cu acțiune (fig. 11.10, a și b) au o formă îngroșată la mijloc, cu unghiurile de intrare și de ieșire aproape egale. Aceste palete se fixează pe discuri.

Paletelile cu reacțiune (fig. 11.10, c și d) au o formă nesimetrică, cu muchia de intrare rotunjită. Unghiul de la intrare este mult mai mare decât cel de la ieșire. Paletelile cu reacțiune se fixează direct pe tambur.

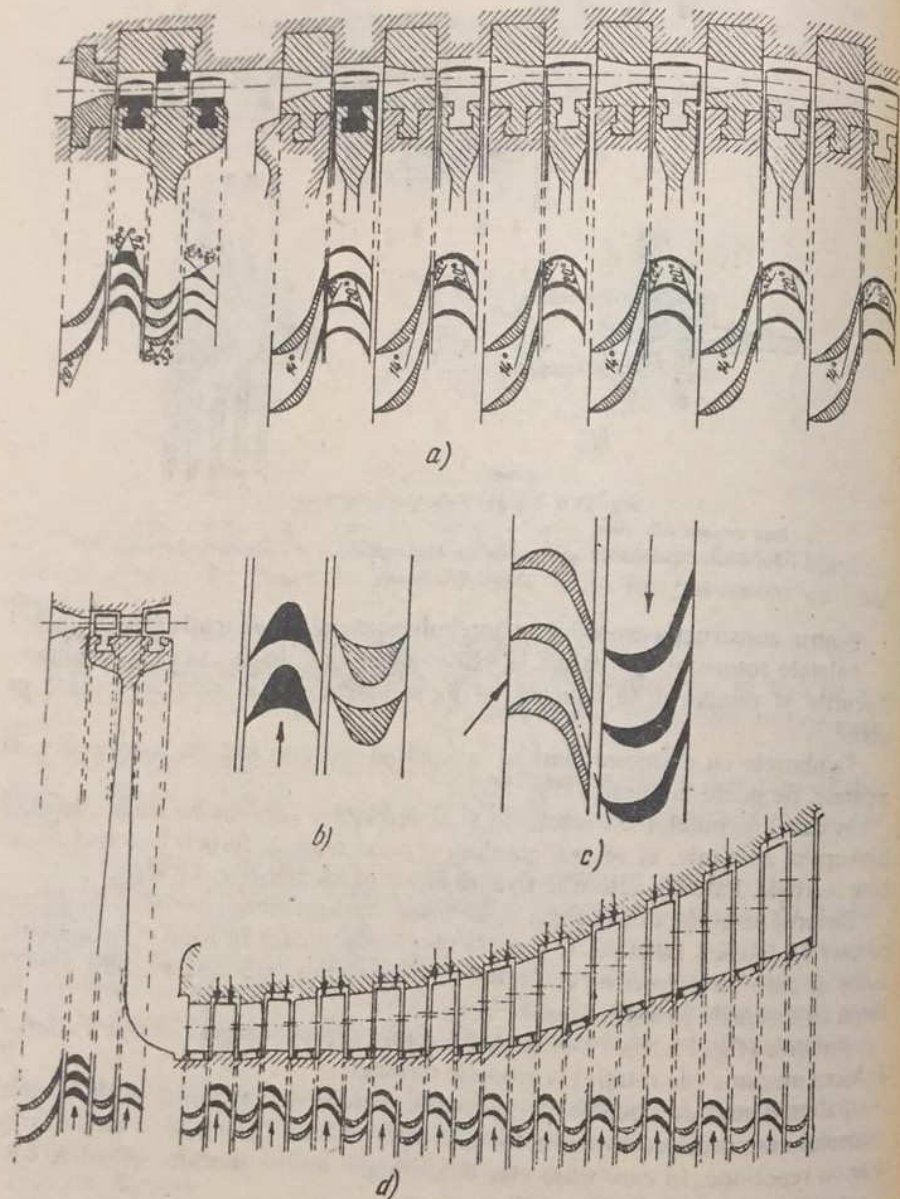


Fig. 11.10. Palete:

a) - secțiune prin paletele și ajutajele unei turbine cu acțiune; b) - forma paletelor cu acțiune; c) - forma paletelor cu reacțiune; d) - secțiune prin paletele unei turbine cu reacțiune.

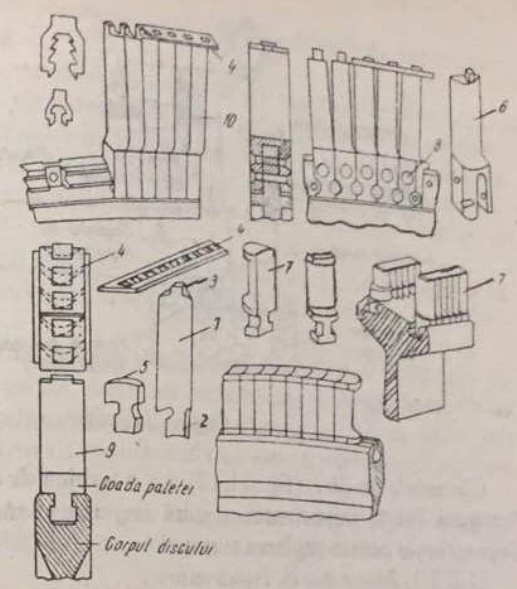


Fig. 11.11. Forma paletelor:
 1 - corpul paletelor; 2 - piciorul; 3 - capul;
 4 - bandaj; 5 - piesă de distanțare; 6 - paletă fără piesă de distanțare; 7 - paletel
 unei roți Curtiss cu două trepte; 8 - palet
 fixate prin nituire; 9 - paletel
 fixate prin
 coadă de rândunică; 10 - paletel
 fixate prin
 creștături în formă de brad.

O paletă se compune din trei părți (fig. 11.11); corpul paletelor 1, adică partea profilată, care este lovită de abur pentru a produce forța; piciorul paletelor 2, adică partea cu care se fixează de disc; capul paletelor 3, care de obicei este nituit într-un bandaj 4 din tablă de oțel, pentru împiedicarea vibrațiilor (la paletel scurte).

Lungimea paletelor poate varia de la circa 6 mm, la turbinele mici, până la circa 700 mm, la ultimile trepte ale turbinelor mari (la 3 000 rot/min). La turație mai mare de 3 000 rot/min, lungimea maximă a paletelor scade, deoarece cresc forțele centrifuge.

Lățimea paletelor poate varia de la 10 până la 110 mm.

Paletel pot fi executate dintr-o bucată cu piesa de distanțare 6 sau cu piesa de distanțare separată 5.

Acolo unde picăturile de apă lovesc paletel turbinei, și anume în ultimile rânduri de paletel, materialul, oricât de bun ar fi, este erodat din cauza acțiunii mecanice a picăturilor de apă, care lovesc cu viteză mare suprafețele paletelor.

Pentru împiedicarea acțiunii erozive a picăturilor de apă, singurul remediu este să se evite formarea prea multor picături de apă, adică să se obțină în ultimile trepte ale turbinei un abur cât mai „uscat”.

Cuplaje. Pentru cuplarea rotoarelor turbinei și generatorului electric se întrebuințează trei tipuri de cuplaje: fixe (rigide), semielastice și mobile (elastice).

În cazul cuplajului semielastic, între flanșe se intercalează partea ondulată de manșon, semielastică. Cupla este fixă în ce privește răsucirea și elastică în ceea ce privește încovoierea.

Cuplajul elastic permite o oarecare deplasare în direcția axială a rotoarelor.

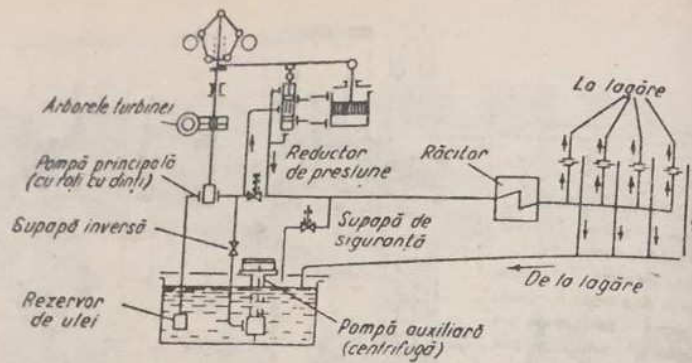


Fig. 11.12. Schema circuitului de ulei.

Circuitele de ulei. (fig. 11.12). La o turbină de abur, uleiul îndeplinește trei funcțiuni foarte importante: asigură ungerea și răcirea lagărelor și în același timp servește pentru reglarea turbinei.

11.2.2.3. Instalația de condensare

După ce a lucrat în turbină, aburul pătrunde în condensator, unde se condensează. Condensatorul de suprafață (fig. 11.13) constă dintr-un cilindru metalic, în interiorul căruia sunt așezate țevile de răcire.

În condensator există totdeauna o depresiune foarte mare (88-96% vid), ceea ce contribuie la mărirea randamentului și a puterii turbinei.

În afară de aceasta, al doilea rol al condensatorului este să condenseze aburul, care este apoi trimis sub formă de apă condensată, în rezervorul de alimentare al cazanelor. Apa condensată (distilată) constituie cea mai bună apă pentru alimentarea cazanelor, deoarece este o apă perfect curată, lipsită de săruri. Sunt și turbine fără condensator, la care aburul, la ieșirea din acestea, nu este lăsat să se risipească în atmosferă, ci este folosit în diverse scopuri, iar condensatul este înapoiat la centrala electrică (turbina cu contrapresiune).

Aburul pătrunde în condensator prin gura de intrare 8, în spațiul dintre țevile acestuia. Prin țevile 3 ale condensatorului trece în permanență apă rece. Aburul.

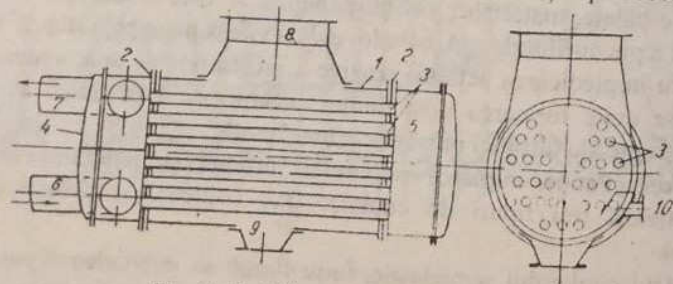


Fig. 11.13. Schema condensatorului:

1 - corpul condensatorului; 2 - plăci tubulare; 3 - țevi de răcire din alamă; 4, 5 - camere de apă; 6 - racordul de intrare a apei de răcire; 7 - racordul de ieșire a apei de răcire; 8 - racordul condensatorului cu turbină; 9 - racordul pentru evacuarea condensatorului; 10 - racordul pentru evacuarea aerului.

venind în contact cu țevile reci, cedează țevilor căldura latentă de vaporizare (condensare) și se condensează.

Volumul specific al apei este de câteva sute de ori mai mic decât volumul specific al aburului. Deci, din tot volumul de abur care a pătruns la un moment dat în condensator, după condensare nu rămâne decât un volum de apă redus de câteva sute de ori, care cade la fundul condensatorului. În locul volumului de abur condensat a rămas vid; în felul acesta se explică formarea vidului în condensator.

Apa care se adună la fundul condensatorului este aspirată prin racordul 9 de o pompă, numită pompa de condensat, și apoi refulată spre rezervorul de alimentare a cazanelor.

O dată cu aburul pătrunde în condensator și aerul, fie antrenat de aburul din cazan, fie pe la diverse neetanșități. Acest aer are tendința să ocupe locul rămas liber prin condensarea aburului, stricând vidul. Pentru a scoate aerul din condensator, acesta este prevăzut cu un dispozitiv de aspirat aerul numit *efector*, care aspiră aerul prin racordul 10.

Cantitățile mari de apă de răcire de care au nevoie centralele electrice se pot obține în două moduri complet diferite, cu ajutorul următoarelor două soluții tehnice:

- *răcire în circuit închis* (v. fig. 11.5); apa caldă evacuată din condensator este trecută printr-o instalație, numită *turn de răcire*, în care se răcește; apa este apoi introdusă de o pompă în țevile condensatorului, unde se încălzește din nou; apoi se răcește în turn și așa mai departe, făcând un circuit închis.

În turnul de răcire apa este împrăștiată în picături foarte mici prin cădere, pe un sistem special de împrăștiere. Răcirea apei se realizează prin schimbul de căldură cu aerul care străbate turnul (prin fenomenul fizic numit evaporare).

11.2.3. Turbine cu trepte de presiune

Prin destinderea aburului într-o singură treaptă se obțin viteze foarte mari, care nu pot fi folosite decât cu un randament scăzut, deci acest procedeu este indicat numai pentru turbine ieftine.

Pentru obținerea unui randament ridicat este necesar să se dea aburului o viteză mică, care să poată fi folosită într-o singură treaptă de viteză. Pentru aceasta trebuie ca aburul să se destindă numai câte puțin, împărțindu-se căderea aceasta trebuie ca aburul să se destindă numai câte puțin, împărțindu-se căderea de presiune într-un număr de trepte. S-a ajuns astfel la construirea turbinelor cu trepte de presiune. Aceste turbine sunt constituite din rânduri de ajutaje alternând cu rânduri de palete.

După principiul de funcționare, turbinele cu trepte de presiune se împart în două mari grupe:

- turbine cu acțiune;
- turbine cu reacțiune.

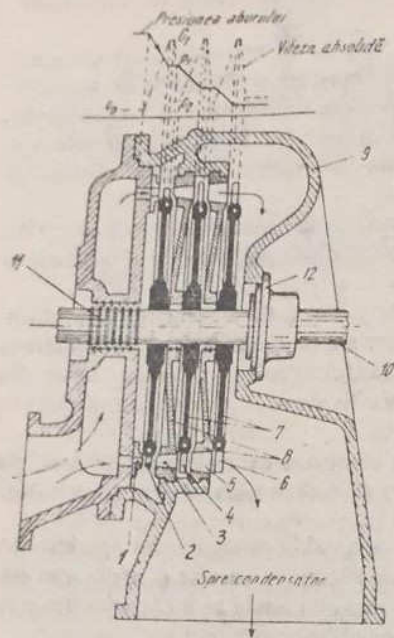


Fig. 11.14. Răcire în circuit închis:
a - secțiune prin instalațiile de răcire; b - schema circuitului de răcire.

În practică se întâlnesc fie aceste tipuri, fie o combinație între ele, așa-numite turbine combinate sau mixte.

Turbina cu trepte de presiune cu acțiune (fig. 11.14) este compusă din mai multe roți de acțiune, între care se montează ajutaje. Aburul proaspăt se destinde parțial în ajutajele 1 și cu viteza obținută prin destindere acționează asupra primei roți cu palete mobile 2; în roată are loc devierea vânei de abur și reducerea vitezei; la ieșirea din paletele primei roți mobile 2, aburul intră în ajutajele 3, în care se produce o nouă destindere și aburul capătă iarăși o viteză mare, cu care intră în șirul al doilea de palete mobile 4, și așa mai departe, până când aburul ajunge în condensator.

Randamentul roții Curtiss (cu două șiruri de palete mobile - v. fig. 11.15) este mai mare decât al acestui tip de turbină. În schimb turbină are avantajul că realizează viteze mai mici de rotație (până la 3 000 rot/min), putând fi astfel cuplată direct, fără reductor de viteză, cu mașinile pe care le acționează.

Turbinele moderne de putere mare, când se construiesc de tipul cu acțiune, au o roată cu trepte de viteză (Curtiss), de obicei cu două trepte, urmată de o serie de trepte de presiune.

Numărul treptelor de presiune într-o singură turbină variază în limite largi, de la patru, cinci, până la 40 de trepte.

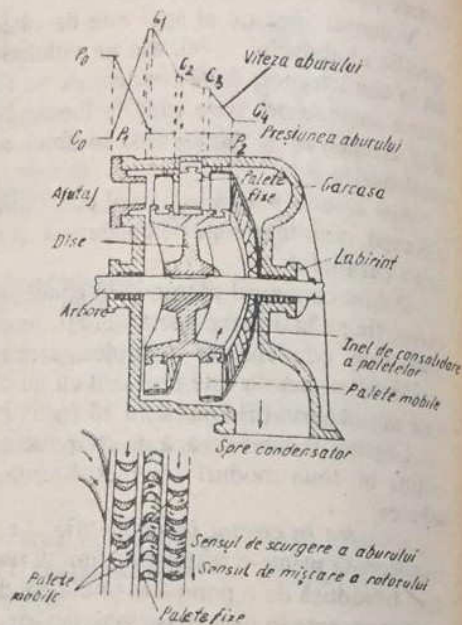


Fig. 11.15. Turbina cu două trepte de viteză (roată Curtiss).

12.

UTILAJE PENTRU ENERGETICA NUCLEARĂ

12.1. REACTORUL NUCLEAR

Reactorul nuclear este o instalație extrem de complexă în care se realizează fisiunea în lanț controlată și care arată în principiu ca în figura 12.1.

Principalele sale părți componente sunt:

- zona activă, în care se realizează reacția în lanț, alcătuită din combustibilul nuclear, moderatorul, barele de reglaj, dispozitivele de control și materialele structurale;

- peretele înconjurător, care realizează protecția biologică, al cărui rol este de a reduce până la un nivel nepericulos radiațiile ce apar în zona activă (îndeosebi a radiațiilor γ);

- schimbătorul de căldură;

- aparatura de control.

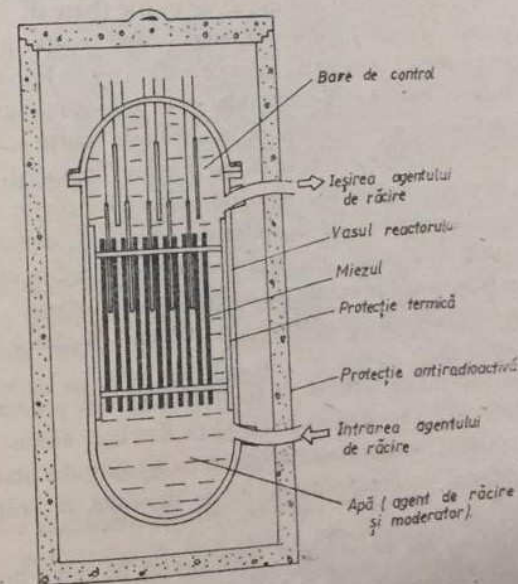


Fig. 12.1. Reactorul nuclear.

Zona activă este elementul fundamental al oricărui reactor nuclear. Aici se află combustibilul nuclear și moderatorul. Ca în orice proces, se urmărește ca materialul fisionabil consumat să fie cât mai redus. Astfel, pentru obținerea masei critice cu consum cât mai mic de combustibil, se folosesc reflectoarele, cu care se înconjoară zona activă. Aceste reflectoare au rolul de a reflecta neutronii înapoi în zona activă, reducând astfel pierderile de neutroni spre exteriorul materialului fisionabil. Reflectoarele sunt de regulă compuse din aceleași substanțe ca și moderatorul.

Moderatorul trebuie să fie compus din nuclee ușoare pentru a nu capta neutronii, ci doar pentru a-i încetini. Astfel de elemente sunt: hidrogenul, deuteriul, beriliul, carbonul. Acestea se folosesc sub formă de apă (hidrogen), apă grea (deuteriu), grafit (carbon), metal sau oxid (beriliu). De asemenea, se mai utilizează unele substanțe organice cu conținut bogat de hidrogen.

Așa cum se vede din figura 12.1, zona activă mai conține și o serie de materiale care fac parte din structura propriu-zisă a instalației (tecile barelor cu material fisionabil și de control, diferite conducte, canale pentru iradiere, etc.) și agentul de răcire.

Controlul procesului de fisiune necesar pentru întreținerea reacției, se efectuează cu ajutorul unor materiale absorbante de neutroni, care să nu se deterioreze prea rapid prin topire sau coroziune. Astfel de materiale sunt cadmiul și borul, primul (aliat îndeosebi cu indiu și argint, pentru a-i crește temperatura de topire) folosit în reactoare de mică putere, iar al doilea (sub formă de carbură de bor, B_4C) în reactoare de putere, deoarece are temperatura de topire mai ridicată decât cadmiul. Aceste materiale se prezintă sub formă de bare și se folosesc pentru control (bare de control) sau în caz de avarie (bare de avarie). Barele de avarie sunt acționate automat, deoarece, atunci când reactorul ajunge în regim supracritic, puterea crește vertiginos, ceea ce – dacă nu se folosesc prompt barele de avarie – duce la distrugerea reactorului, prin topirea moderatorului.

Timpul de acționare al sistemului de control este foarte scurt, datorită vitezei mari de creștere a numărului de neutroni în regim supracritic. S-a stabilit că, într-o secundă, în regim supracritic, numărul neutronilor crește de e^{10} ori.

Rolul barelor de control este deosebit de important, deoarece, cu ajutorul lor, reactoarele pot fi trecute din regim subcritic în regim critic și invers, cu alte cuvinte, pot fi pornite sau oprite ori de câte ori este nevoie.

Schimbătorul de căldură se compune din sistemul de răcire și cel de transfer al căldurii spre exterior.

Prin sistemul de răcire trebuie să fie vehiculat sub presiune un agent de răcire, care să aibă căldură specifică mică (să cedeze ușor căldura acumulată), să fie foarte fluid, să aibă stabilitate termică (să nu-și schimbe starea de agregare, să nu se descompună la temperaturile ce se dezvoltă în reactor), să nu fie corosiv.

S-a ajuns la concluzia că în cazul reactoarelor de mică putere, agenții de răcire cei mai acceptabili sunt apa și apa grea. La reactoarele de putere, se mai folosesc și metale lichide (sodiu), gaze (bioxidul de carbon) și substanțe lichide

organice. Aerul nu poate fi folosit deoarece la temperaturi mari devin corosiv. În unele cazuri este folosit heliul (dar este foarte scump) sau hidrogenul (acesta prezintă dezavantajul inflamabilității).

Transferul termic se face în felul următor: căldura degajată în zona activă, în urma procesului de fisiune, este preluată de agentul de răcire. Deoarece atât agentul de răcire, cât și sistemul de răcire, sunt puternic contaminate radioactiv, pentru transferarea căldurii în exteriorul reactorului se utilizează un alt sistem, care s-o preia de la agentul de răcire. Acesta este schimbătorul de căldură, care transportă căldura în funcție de destinația acesteia (instalații de încălzire sau de generare de energie electrică în centrale electrice). Circuitul schimbătorului de căldură este complet separat de sistemul de răcire și ea și acesta este un circuit închis.

Desigur, acest dublu sistem de transfer de căldură are dezavantajul că apar pierderi suplimentare de căldură, înrăutățind randamentul de transformare a energiei calorice în energie electrică. În schimb, pericolul de iradiere este foarte redus.

Se mai utilizează și un transfer direct de energie termică, fără schimbător de căldură și anume fierberea apei în vasul reactorului și preluarea directă a vaporilor pentru utilizare în turbinele centralelor. Randamentul este mult mai mare, dar pericolul de iradiere este sporit, prezența filtrelor de radiații fiind obligatorie.

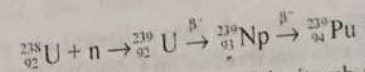
Există diferite moduri de clasificare a reactoarelor, dintre care cele mai importante sunt:

- după felul neutronilor care produc fisiunea (termici, rapizi);
- după destinație (de cercetare, de putere).

În continuare, vor fi descrise câteva tipuri de reactoare termice (cu neutroni de mică energie), acestea fiind cele mai numeroase.

La ora actuală, cele mai multe centrale nucleare-electrice sunt echipate cu reactoare termice de putere.

Reactorul termic cu răcire cu gaz folosește drept combustibil, uraniu natural, ca moderator – grafitul, iar ca agent de răcire – bioxidul de carbon. Acest tip de reactor a obținut supremația în perioada de început a obținerii energiei nucleare deoarece nu necesită îmbogățirea uraniului în izotopul 235. Într-un astfel de reactor, pe lângă efectul caloric substanțial, datorită procesului de captură a neutronilor termici de către nuclelele de ^{238}U (aflate în uraniul natural), se produce plutoniu,



În aceste reactoare, uraniul natural este folosit sub formă de bare metalice, pentru a se putea asigura masa critică într-un spațiu de dimensiuni acceptabile. Dar, uraniul metalic este mai puțin rezistent la temperatură și de asemenea se iradiază mai greu, ceea ce duce la un grad de ardere scăzut (prin grad de ardere se înțelege energia degajată prin fisiunea unei cantități de masă de combustibil nuclear). Acest inconvenient nu poate fi înlăturat decât prin înlocuirea barelor

de uraniu în timpul funcționării reactorului, ceea ce presupune instalații sofisticate și costisitoare.

O variantă îmbunătățită, o reprezintă reactorul care folosește uraniul îmbogățit în loc de uraniul natural. La acesta, combustibilul se prezintă sub forma unor bare din oxid de uraniu învelite în teji de oțel inoxidabil, ceea ce face posibilă creșterea temperaturii în zona activă. Acest reactor dezvoltă o putere de 6 ori mai mare decât aceeași variantă care folosește uraniu natural. Dezavantajele sale sunt că, datorită oțelului inoxidabil care absoarbe intens neutronii, precum și concentrației mai scăzute de $^{238}_{92}\text{U}$, producția de plutoniu este mai mică.

O variantă și mai perfecționată este reactorul răcit cu gaz la temperatură înaltă. În acest reactor, combustibilul este uraniul puternic îmbogățit, sub formă de granule mici îmbrăcate în grafit. Agentul de răcire este heliul, care poate atinge la ieșire temperaturi de peste 900°C . La acest tip de reactor, gradul de ardere este foarte mare, prin conversia toriului ($^{232}_{90}\text{Th}$) în uraniu 233, cu un foarte bun randament. Spre deosebire de $^{235}_{92}\text{U}$ și $^{238}_{92}\text{U}$, uraniul 233 este ușor fisibil, dar nu se găsește în natură. De aici rezultă superioritatea acestui reactor față de cele cu un consum mare de uraniu natural.

Reactoarele termice cu uraniu natural și apă grea (atât ca moderator cât și ca agent de răcire) au apărut ulterior celor răcite cu gaz. Ele presupun o producție industrială de apă grea, la costuri rezonabile.

Faptul că nu este nevoie de uraniu îmbogățit, prezintă un mare avantaj, iar folosirea apei grele, în dublă calitate, de moderator și agent de răcire, avantajează procesele fizice.

Întrucât folosirea apei grele are unele dezavantaje, cum ar fi descompunerea ei în deuteriu și oxigen sub acțiunea radiațiilor sau degradarea ei prin absorbție de apă obișnuită, s-au încercat diferite variante de eliminare totală sau parțială a acesteia.

O astfel de variantă o reprezintă reactorul ce utilizează apa grea ca moderator, iar agentul de răcire este apa obișnuită, adusă la fierbere. Aburul obținut, este utilizat direct la turbinele centralei electrice. Combustibilul este fie uraniul îmbogățit, fie cel natural.

O altă variantă o reprezintă reactorul ce utilizează tot apa grea ca moderator și lichidele organice ca agent de răcire. Lichidele organice prezintă avantajul că nu corodează instalațiile și pot fi aduse la temperaturi înalte fără a se ridica presiunea. Singurul lor defect este că se descompun sub acțiunea temperaturii și radiațiilor.

Cel mai eficient reactor dintre cele care utilizează apa grea atât ca moderator cât și ca agent de răcire, este reactorul de tip CANDU. Puterea unui astfel de reactor este de aprox. 660 MW. Apa grea este folosită ca moderator în propriul circuit, iar agentul de răcire (tot apă grea) circulă prin tuburi de presiune în care se află elementele de combustibil. Agentul de răcire trece printr-un generator de abur, întrucât este puternic radioactiv și nu poate fi folosit direct.

Există și varianta cu vas sub presiune, în care apa grea este utilizată atât pentru moderare, cât și pentru răcire, în circuite oarecum comune.

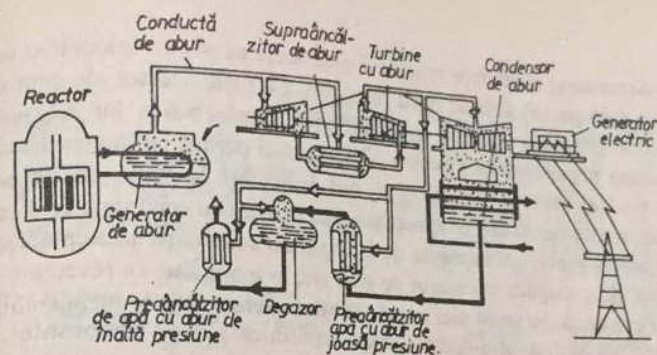


Fig. 12.2. Schema centralei nucleare-electrice echipată cu un reactor cu uraniu îmbogățit și apă sub presiune.

Puterile mari realizate, posibilitatea ca prin sistemul de răcire să treacă și alți agenți de răcire (apa obișnuită, lichide organice), randamentul bun (0,29), gradul de ardere ridicat pentru uraniu natural, producerea a aprox. 3 kg de plutoniu pentru fiecare tonă de combustibil, fac ca reactorul de tip CANDU să fie superior celorlalte tipuri de reactoare prezentate.

Țările care și-au putut dezvolta producția de uraniu îmbogățit, și-au putut permite să construiască reactoare cu moderatorul din grafit și cu apă obișnuită ca agent de răcire, iar combustibilul sub formă de bioxid de uraniu. Acesta se prezintă în două variante:

- cu apă sub presiune;
- cu apă în fierbere.

În prima variantă, căldura degajată în zona activă este vehiculată de agentul de răcire din circuitul primar spre generatorul de abur, din care aburul saturat este supraîncălzit și transmis mai departe spre turbine. Schema simplificată a unei centrale nucleare-electrice echipată cu un astfel de reactor este prezentată în figura 12.2.

În cazul variantei cu apă în fierbere, aburul iese direct din circuitul primar spre turbine, fără intermedierea generatorului de abur (fig. 12.3). În acest caz, este necesară o filtrare eficientă a radiațiilor, precum și dezactivarea elementelor turbinei pe care se depun reziduuri radioactive.

În caz de avarie, la această variantă gradul de pericol radioactiv este mai mare decât la prima variantă.

La acest tip de reactor, indiferent de variantă, producția de plutoniu este mai slabă (1,2 ... 1,3 kg Pu/tonă de uraniu) datorită conținutului redus de $^{238}_{92}\text{U}$ a uraniului îmbogățit. În schimb, în aceste reactoare, combustibilul „ars” prezintă un procentaj ridicat de $^{235}_{92}\text{U}$ (0,8-0,9% față de 0,7% în uraniul natural), care poate fi recuperat pe cale chimică și folosit.

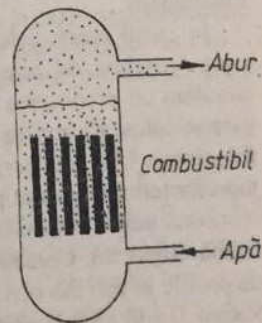


Fig. 12.3. Varianta cu apă în fierbere.

Un dezavantaj al acestor reactoare este acela că pentru înlocuirea combustibilului (o dată pe an) trebuie oprit reactorul. Cu toate acestea ele sunt destul de avantajoase (întrucât necesită investiții mici, exploatarea lor este simplă iar funcționarea necostisitoare) pentru țările care-și permit producția acestui combustibil nuclear (uranu îmbogățit) destul de scump. În medie costul unui kWh produs de aceste reactoare se apropie de cel realizat de centralele clasice, în fapt fiind singurele reactoare capabile de a asigura o competitivitate cu acestea. Prețtenția însă, de a asigura necesarul de energie, în întregime, cu reactoare de acest tip, este nerealistă, întrucât nici combustibilul nuclear nu este inepuizabil.

Alternativa ar constitui-o reactoarele reproducătoare de combustibil, cu neutroni rapizi. Acestea însă funcționează cu un combustibil care nu se găsește în natură – plutoniu, dar pe care reactoarele termice sunt capabile să-l producă. Spre deosebire de reactoarele termice, în reactoarele rapide fisiunea uraniului și/sau a plutoniului are loc cu neutroni rapizi (neîncetiniți) care apar din fisiunile anterioare.

Astfel, în reactoarele cu neutroni rapizi nu mai este necesară prezența unui moderator. Căldura rezultată în urma reacției în lanț este preluată și transportată de un agent termic care trebuie să aibă slabe proprietăți moderatoare, dar foarte bune de transfer termic.

Metalele lichide întrunesc aceste condiții. Sodiul lichid este astăzi cel mai folosit agent termic în reactoarele cu neutroni rapizi. Punctul de fierbere ridicat al sodiului este un avantaj, deoarece permite funcționarea reactorului la temperaturi ridicate și presiuni reduse.

Controlul reactorului se realizează, ca și în cazul reactoarelor termice, cu ajutorul unor bare conținând bor.

Principalul avantaj al reactoarelor cu neutroni rapizi, care le fac să fie considerate generația următoare de reactoare nucleare, este capacitatea de regenerare a combustibilului nuclear.

Proprietatea de regenerare a combustibilului nuclear se descrie prin coeficientul de regenerare al reactorului și este definit ca raportul dintre numărul de nuclee fisionabile noi produse și numărul de nuclee fisionabile „arse” în timpul funcționării.

În cazul reactoarelor cu neutroni rapizi, acest coeficient este supraunitar (spre deosebire de cele termice, pentru care este subunitar) ceea ce face ca simultan cu producerea de energie electrică, să genereze combustibil proaspăt care se folosește într-un alt reactor. Astfel, reactoarele cu neutroni rapizi permit folosirea a 75% din energia conținută în uraniu natural, în timp ce în cazul reactoarelor termice această proporție nu depășește 2%.

Zona activă a unui reactor cu neutroni rapizi răcit cu sodiu, are în general formă cilindrică. Combustibilul conținând uraniu și plutoniu se află sub formă de pastile în teci din oțel inoxidabil, formând bare cu diametrul de aprox. 7 mm. Sodiul lichid circulă printre bare, preluând și transportând căldura rezultată în urma fisiunii în schimbătorul de căldură, care o transferă la rândul lui circuitului secundar neradioactiv. Circuitul secundar dintre schimbătorul de căldură și

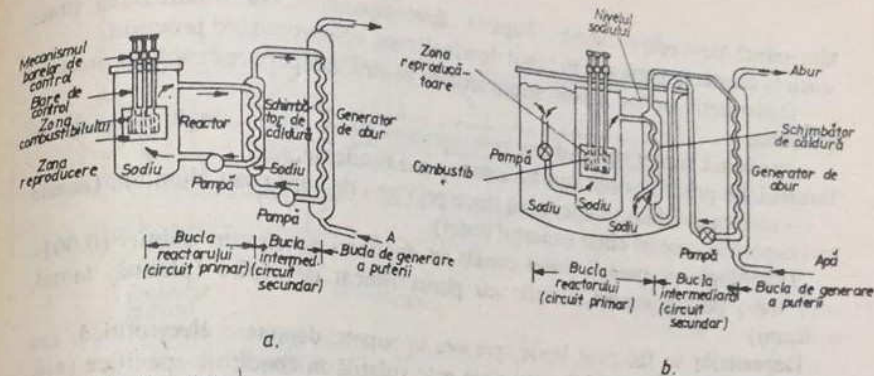


Fig. 12.4. Schema pentru reactor rapid răcit cu sodiu, tip buclă (a) și tip piscină (b)

generatorul de abur a fost introdus din motive de securitate ca, în caz de avarie, sodiul radioactiv din circuitul primar să nu intre în contact cu apa din generatorul de abur.

Cele două tipuri de construcție a reactoarelor cu neutroni rapizi (tipul buclă și tipul piscină) sunt schematic prezentate în figura 12.4.

12.2. ACCELERATOARE DE PARTICULE

În fizica modernă se utilizează instalații de dimensiuni remarcabile pentru a accelera particule, imprimându-le astfel energii cinetice mari. Scopul unei astfel de activități este obținerea de particule cu energie cinetică suficientă învingerii barierei de potențial electrostatic al nucleului și de a provoca reacții nucleare.

Toate principiile de accelerare se bazează pe interacțiunea particulelor încărcate cu câmpurile electrice și magnetice. Deci, nu pot fi accelerate decât particule încărcate electric.

În principiu, orice accelerator se compune din următoarele părți: generatorul de înaltă tensiune, sursa de particule, tubul de accelerare, ținta.

Sursa de particule poate fi un filament incandescent, în cazul acceleratorului de electroni, sau un tub de descărcare în gaz la presiune joasă umplut cu hidrogen, heliu sau alt gaz în funcție de natura particulei accelerate (proton, particulă α sau diferiți ioni).

Pentru ca particulele accelerate să ajungă de la sursă la țintă, trebuie să treacă printr-o zonă cu vid înaintat (pentru a nu pierde energie prin ciocnire cu particule de gaz). Această zonă poartă numele de tub de accelerare. În acest tub se găsesc electrozii de focalizare care nu permit fasciculului de particule accelerate să se împrăștie, împiedicând astfel scăderea intensității fasciculului pe țintă.

În ceea ce privește ținta iradiată în acceleratoarele de particule, apar probleme deosebite legate de cantitatea mare de căldură (până la zeci de kW) degajate în timpul bombardării țintei. Din această cauză, ținta trebuie să fie stabilă la temperaturi înalte și în vid, să aibă conductibilitate termică bună și să fie pură

din punct de vedere chimic. Topirea, descompunerea sau volatilizarea țintei duc la creșterea presiunii în tubul de accelerare, compromițând procesul.

Constructiv, se iau măsuri suplimentare pentru îndepărtarea căldurii produse și anume:

- mărirea suprafeței iradiate, prin așezarea țintei sub un unghi mic față de fascicul, fie prin folosirea de ținte rotative sau oscilante;
- răcirea cu ajutorul apei care trece prin țevi de cupru sau aluminiu (aceste țevi constituie uneori chiar suportul țintei).

Tehnologia preparării țintei constă în depuneri de straturi subțiri (0,001–0,1 mm) pe un suport metalic cu punct ridicat de topire (platină, tantal, wolfram).

Depunerile se fac prin lipire, presare în suport, depunere electrochimică, sau evaporare în vid. În cazul în care ținta este volatilă în condițiile specifice (vid, temperatură) procesului de accelerare, pentru a nu se compromite vidul înalt din tubul de accelerare, se închide ermetic ținta în capsule cu pereți foarte subțiri (pereții reduc energia particulelor prin absorbție). Oricare ar fi procedeul de aplicare al țintei pe suport, trebuie avut mare grijă ca nu cumva procedeul respectiv să impurifice ținta.

Greutatea stratului țintă este de câteva zeci de miligrame și se compune din metale, aliaje sau oxizi, acestea fiind îmbogățite în izotopul dorit.

Prelucrarea țintei iradiate constă în următoarele operații:

- răcirea țintei cât mai mult posibil;
- îndepărtarea mecanică a stratului activ;
- dizolvarea fie a stratului îndepărtat mecanic, fie a stratului activ de pe suportul pe care a fost depusă ținta (operațiunea trebuie făcută cu mare atenție pentru a nu se dizolva și suportul și astfel să se contamineze stratul activ; dizolvarea se face cu acizi sau baze;
- separarea izotopului din soluție.

În ceea ce privește energia particulelor accelerate, pentru un potențial V , aceasta este egală cu $E_c = qV$, unde q este sarcina particulei. Ea se măsoară în electron-volți (eV sau multipli, MeV). Electron-voltul este definit ca energia cinetică pe care o primește un electron când străbate o diferență de potențial de un volt; $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Din ecuația anterioară se observă că este avantajoasă accelerarea particulelor cu sarcină cât mai mare, pentru ca, la aceeași tensiune, energia lor să fie mai mare (particule α , ioni grei multipli ionizați). Intensitatea fasciculului de particule accelerate se măsoară în majoritatea cazurilor prin curentul electric corespunzător.

Durata iradierii și energia particulei se stabilesc riguros pentru fiecare caz în parte și sunt foarte importante pentru reducerea probabilității proceselor secundare (reacții nucleare care duc la impurificarea procesului de bază al reacției).

În cele ce urmează va fi prezentat cel mai des întâlnit tip de accelerator de particule.

Acceleratorul liniar face parte din grupa acceleratorilor ciclici, deoarece accelerarea se face prin trecerea repetată (ciclică) a particulelor printr-o zonă acceleratoare.

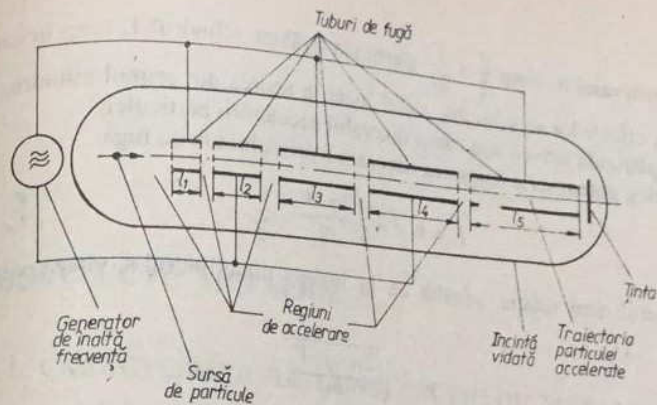


Fig. 12.5. Accelerator liniar.

Acceleratorul liniar este compus dintr-o incintă vidată (în care presiunea nu trebuie să depășească 10^{-6} mbar) având la un capăt sursa de particule, iar la celălalt, ținta. Între ele, apropiați și coaxiali (perfect aliniați), se găsesc cilindri metalici cu lungimi crescânde (tuburi de fugă). Alimentarea cilindrilor se face de la o sursă de înaltă tensiune și înaltă frecvență. Una din bornele sursei se leagă la cilindrii de accelerare pari, iar cealaltă, la cei impari. Schema de principiu a unui astfel de accelerator liniar este prezentată în figura 12.5.

Existența unui ciclu de accelerare și implicit existența întregului proces de accelerare impune respectarea unei condiții de sincronism. Întrucât accelerarea particulelor se face în spațiul dintre cilindri, în interiorul acestora particulele deplasându-se uniform (inerțial), sincronismul necesar procesului de accelerare repetată constă în faptul că la ieșirea din cilindru, particula trebuie să găsească un potențial accelerator (polaritatea tubului următor trebuie să fie opusă polarității particulei). Întrucât viteza particulei, v , este sporită de fiecare treaptă de accelerare, rezultă că și lungimea cilindrilor, l , trebuie să crească, deoarece frecvența sursei de curent este constantă. Practic, timpul de străbateră a unui cilindru trebuie să fie egal cu semiperioada sursei:

$$t = \frac{l}{v} = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f},$$

unde T este perioada iar f - frecvența.

Considerând diferența de potențial a sursei, V , rezultă că energia particulei crește în fiecare treaptă de accelerare cu cantitatea qV (q fiind sarcina particulei accelerate). Prin străbateră consecutivă a n trepte de accelerare, energia finală a particulei devine:

$$E = n \cdot q \cdot V.$$

După prima treaptă de accelerare, energia particulei este $E_1 = qV$. Corespunzător, din ecuația conservării energiei, rezultă că viteza particulei de masă m este:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2q \cdot V}{m}}$$

În intervalul de timp $\frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$, particula străbate cilindrul 1, timp în care polaritatea cilindrilor se schimbă, astfel încât la ieșirea din primul cilindru, particula să pătrundă într-un nou câmp favorabil accelerării particulei.

Analog putem scrie lungimea necesară a primului tub de fugă:

$$l_1 = v_1 t = \sqrt{\frac{2q \cdot V}{m}} \cdot \frac{1}{2f}$$

Generalizând relația, rezultă că la ieșirea din cilindrul n, viteza particulei va fi:

$$v_n = \sqrt{\frac{2n \cdot q \cdot V}{m}}$$

iar lungimea cilindrilor:

$$l_n = \sqrt{\frac{2n \cdot q \cdot V}{m}} \cdot \frac{1}{2f}$$

O caracteristică a acestui accelerator de particule este faptul că ținta nu este „bombardată” de un fascicul continuu de particule, ci în impulsuri, de frecvența sursei de înaltă tensiune.

Din ultima relație se observă că pentru o energie dată, lungimea tuburilor scade o dată cu creșterea frecvenței, motiv pentru care acceleratorul este alimentat cu frecvențe de până la 10 000 MHz. Chiar și în aceste condiții pentru obținerea unor energii foarte mari, dimensiunile acceleratorului liniar devin neoperante. Pe de o parte intervin problemele legate de coaxialitatea tuburilor de fugă, iar pe de altă parte este foarte dificil de menținut vidul înalt într-o incintă foarte lungă, nemaivorbind de puterea generatorului necesar menținerii sub tensiune a unui număr mare de cilindri.

Marele avantaj al acceleratorului liniar este faptul că din punct de vedere economic, costul său crește direct proporțional cu energia; la ceilalți acceleratori ciclici, costul crește cu puterea a treia a energiei.

13.

CONSTRUCȚII METALICE

13.1. CARACTERISTICILE CONSTRUCȚIILOR METALICE

Materialele uzuale folosite la realizarea construcțiilor metalice sunt: lemnul, oțelul, zidăria de cărămidă sau de piatră, betonul cu sau fără armare etc. Fiecare material este folosit la tipul de construcție corespunzător caracteristicilor sale. Aceste caracteristici sunt de două feluri și anume:

- *caracteristici care privesc materialul propriu-zis* (omogenitatea, proprietățile mecanice, comportarea în timp, la transport și la prelucrare);
- *caracteristici care privesc executarea construcției* (tehnica de execuție, comportarea în exploatare, estetica).

Privit din punct de vedere al acestor caracteristici, oțelul prezintă următoarele avantaje față de alte materiale de construcție: este un material omogen și are proprietăți mecanice superioare tuturor celorlalte materiale. Rezistența sa la întindere, la compresiune și la încovoiere, solicitări întâlnite la cele mai multe elemente ale construcțiilor, sunt dintre cele mai ridicate.

Avantajele construcțiilor metalice, în raport cu construcțiile din alte materiale:

- *sunt mai ușoare*, deoarece rezistențele admisibile ale oțelului sunt mult mai mari decât ale celorlalte materiale de construcție (beton, beton armat, lemn). Aceasta face ca piesele de oțel să aibă dimensiuni și greutatea mai mici decât piesele din alte materiale destinate aceluiași solicitări:

- *executarea elementelor construcțiilor metalice prin procedee industriale* permite folosirea forței de muncă în tot timpul anului, fără întreruperi în timpul iernii, cum este cazul construcțiilor de beton sau de zidărie. Execuția din elemente prefabricate permite demontarea și montarea lor în alt loc, dându-li-se, eventual, o altă utilizare; de exemplu, podurile de cale ferată care nu mai corespund pentru un anumit trafic se demontează și se remontează pe linii secundare sau se transformă în poduri de șosea;

- *durata de utilizare a construcțiilor metalice este foarte mare*;
- *volumul manoperei de execuție și de montaj este redus*. Prin uniformizarea detaliilor și prin folosirea unor forme constructive simple se poate ajunge la un consum și mai redus de manoperă;

- se montează ușor și rapid, nefiind necesare schele complicate de montare;
- pot fi folosite imediat după montare, nemaifiind necesar timpul de întărire (de priză) de la construcțiile de beton;
- materialul construcțiilor metalice se recuperează după demolarea acestora, prin retopire sau chiar re folosire.

Dezavantajele construcțiilor metalice în raport cu construcțiile din alte materiale de construcție:

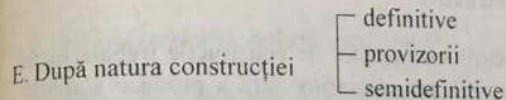
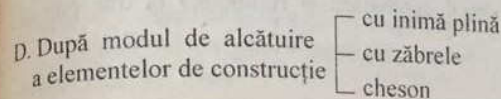
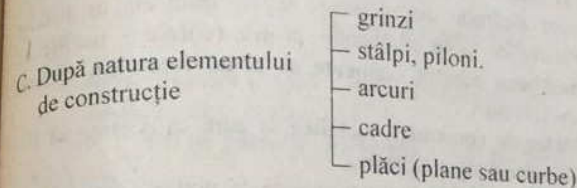
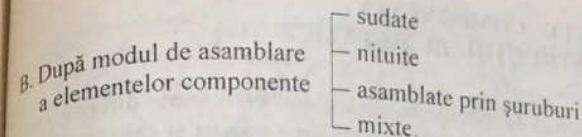
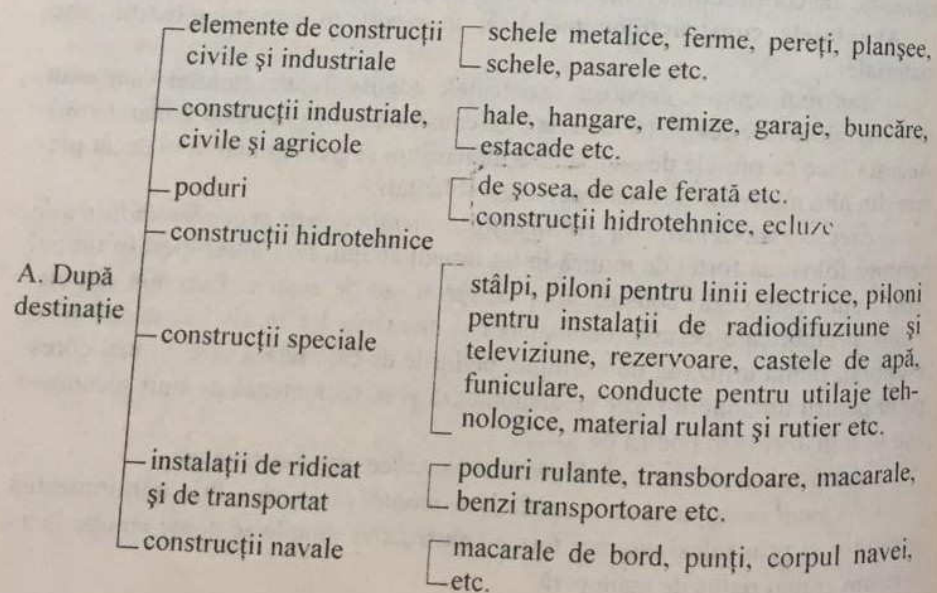
- oțelul este un material relativ scump;
- executarea construcțiilor metalice necesită utilaj complex și personal pregătit și specializat atât pentru execuție cât și pentru montaj;
- toleranțele de execuție fiind mici, impun respectarea întocmai a documentației de execuție;
- construcțiile metalice sunt supuse coroziunii și necesită cheltuieli de întreținere suplimentare.

În timpul exploatării, construcțiile metalice necesită o supraveghere continuă și lucrări periodice de întreținere.

Construcțiile montate în exterior, supuse agenților atmosferici și intemperțiilor, trebuie să fie protejate periodic, sau când se constată că au suferit degradări, prin aplicarea de straturi de vopsea adecvată condițiilor de mediu în care funcționează construcția.

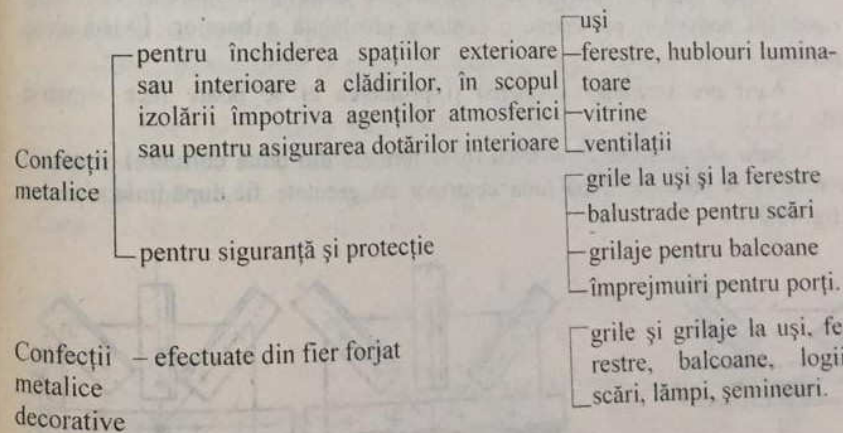
13.2. CLASIFICAREA CONSTRUCȚIILOR METALICE

Construcțiile metalice propriu-zise pot fi clasificate după mai multe criterii și anume:



Prescripțiile de calcul și de execuție a construcțiilor metalice țin seama de această clasificare și diferă de la o grupă la alta.

Confecțiile metalice (construcții metalice de tip ușor) pot fi grupate în funcție de rolul pe care trebuie să-l îndeplinească și anume:



În ceea ce privește execuția construcțiilor metalice tendința actuală este realizarea elementelor principale (stâlpi, grinzi, ferme etc.) pe scară industrială, cu elemente tipizate, în întreprinderi specializate și cu utilaje și mașini-unelte speciale.

13.3. ELEMENTELE COMPONENTE ALE CONSTRUCȚIILOR METALICE

Construcțiile metalice au forme, dimensiuni și destinații foarte diferite: construcții cu etaje, turnuri și stâlpi de susținere, poduri de șosea și cale ferată etc. Construcțiile metalice sunt alcătuite din elemente legate între ele în diferite moduri și care pot fi grupate în: table, platbande, profile (corniere, profile U, profile I etc.) și țevi. Asamblarea acestor elemente se poate face prin sudare, nituire și chiar prindere cu șuruburi.

La alcătuirea elementelor de construcții metalice se cere ca acestea să fie simple și să folosească elementele standardizate.

Alcătuirea elementelor trebuie să asigure prinderea la noduri, asamblarea corectă, întreținerea ușoară în timpul exploatarei și rigiditatea la transport și montaj.

13.3.1. Prinderi. Soluții constructive

Prinderile în noduri și îmbinările elementelor de construcție trebuie să fie simple și să asigure totodată transmiterea eforturilor fără a produce solicitări suplimentare.

Prinderile în noduri se fac, în general, cu ajutorul guseelor, dar se poate face și direct, fără elemente intermediare. Guseele sunt elemente din tablă groasă, de forme variate, în funcție de numărul și direcția barelor concurente în nod.

Evitarea apariției solicitărilor suplimentare datorită montajului excentric, rigidității nodurilor, presupune o centrare prealabilă a barelor. Există două cazuri:

– *bara are secțiunea simetrică și prinderea ei se poate face simetric* (fig. 13.1);

– *bara are secțiune asimetrică (bare formate din două corniere) și atunci prinderea se face fie după linia centrelor de greutate, fie după linia niturilor* (fig. 13.2);

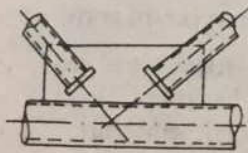


Fig. 13.1. Prindere simetrică pentru bare cu secțiune simetrică.

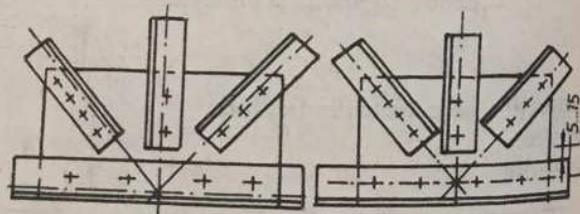


Fig. 13.2. Prindere asimetrică.

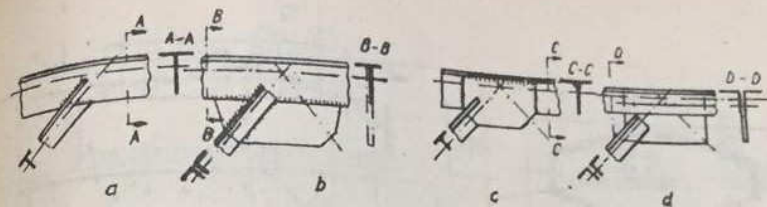


Fig. 13.3. Prindere la noduri.

Prinderea barelor în noduri are mai multe soluții:

- *prinderea directă* (fig. 13.3, a);
- *prinderea cu guseu în prelungire* – este preferată în cazul îmbinării sudate (fig. 13.3, b);
- *prinderea cu guseu intercalat* – soluția poate fi folosită și în cazul îmbinării sudate dar și în cazul îmbinării nituite (fig. 13.3, c);
- *prinderea cu guseu suprapus* – soluția este folosită în cazul îmbinării nituite (fig. 13.3, d).

13.3.2. Înnădiri. Soluții constructive

Înnădirile se pot realiza cu ajutorul ecliselor sau a *cornierelor de imbinare*. Ele trebuie alcătuite în așa fel încât să nu constituie părți slabe pentru construcție și să se poată controla în timpul exploatarei.

13.3.2.1. *Înnădirea platbandelor.* Platbandele sunt elemente de tipul plăcilor la care o dimensiune predomină în raport cu celelalte două.

Platbandele nu se folosesc izolate și de aceea înnădirea lor nu este o operație independentă; soluția care se adoptă este determinată de configurația ansamblului din care face parte.

Înnădirea platbandelor se poate face prin sudare sau prin nituire, cu sau fără eclise.

– *Înnădirea prin sudare fără eclise* folosește sudură cap la cap; rostul se dispune normal pe direcția eforturilor (fig. 13.4, a). Când nu se poate asigura o sudură de calitate, se pot executa înnădiri cu rostul înclinat față de direcția eforturilor ($\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$) (fig. 13.4, b).

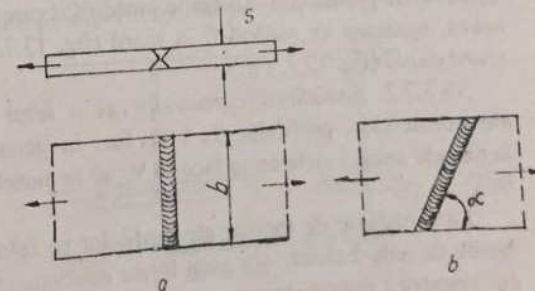


Fig. 13.4. Înnădire fără eclise prin sudare.

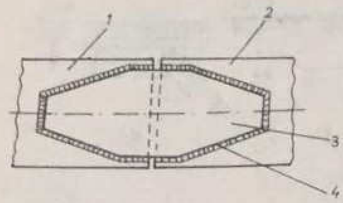


Fig. 13.5. Înnădire cu eclisă racordată prin sudare:
1, 2 - piese, 3 - eclisă racordată, 4 - cordon de sudură

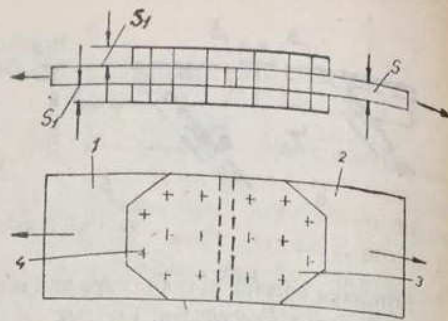


Fig. 13.6. Înnădirea prin nituire a platbandelor:
1, 2 - platbande; 3 - eclisă; 4 - nituri.

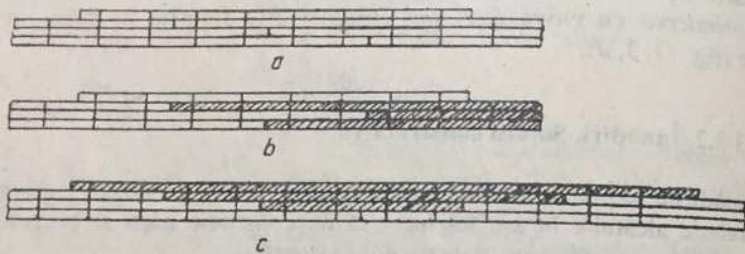


Fig. 13.7. Înnădirea pachetelor de platbande.

Îmbinarea cap la cap nu poate transmite întregul efort capabil de a fi preluat de platbandă, inconvenient ce se remediază folosind înnădirea oblică.

- Înnădirea prin sudare cu eclise se poate face folosind una sau două eclise. Înnădirea cu două eclise se preferă când ambele fețe ale platbandei sunt libere. Pentru ca transmiterea eforturilor să fie lentă este necesar ca eclisa să fie racordată (fig. 13.5).

- Înnădirea prin nituire cu eclise. Așezarea niturilor la înnădire se face cât mai strâns, la distanțe minime (fig. 13.6).

La construcțiile nituite se folosesc în piese compuse platbande suprapuse (pachete de platbande). Rosturile înnădirilor care se execută la montaj se eșalonează, așezarea lor putând fi în scară (fig. 13.7, a) în clește (fig. 13.7, b), în scară dublă (fig. 13.7, c).

13.3.2.2. Înnădirea cornierelor și a altor laminate. Înnădirile sudate ale cornierelor, profilelor T, I se fac, în general, prin sudură cap la cap; la piesele subțiri sudarea se face în V, iar la piesele groase este indicată sudarea în X.

La înnădirile de montaj ale profilelor se folosesc de regulă eclise cu cordoane de colț. Eclisele vor avea forme adecvate (fig. 13.8) (platbande, corniere etc.) pentru a permite executarea ușoară și corectă a cusăturilor.

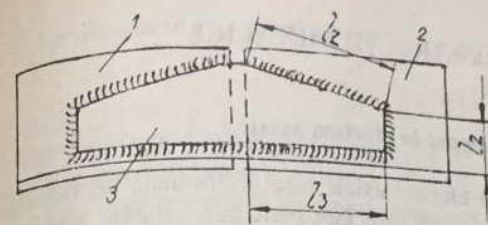


Fig. 13.8. Asamblarea cornierelor prin eclisă prin sudare:
1, 2 - corniere; 3 - eclisă.

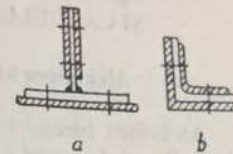


Fig. 13.9. Înnădirea profilelor cu eclise prin nituire.

- Înnădirile cu nituri sunt folosite la montaj chiar la construcții ale căror elemente au fost confecționate în atelier prin sudare; eclisele se realizează din platbande, corniere, pe aceleași principii ca la înnădirile sudate (fig. 13.9, a).

La înnădirea unui profil este necesar ca fiecare parte a profilului să fie înnădită (fig. 13.9, b).

2.3.2.3. Înnădirea barelor

Înnădirea barelor sau a părților care le compun se face astfel încât să fie introduse perturbări cât mai mici în scurcerea eforturilor. În general înnădirea se alcătuieste să poată transmite întreg efortul capabil al barei. Se recomandă ca înnădirile să nu fie așezate în porțiunile cele mai solicitate ale barei.

- Înnădire prin nituire se face cu eclise; diferitele părți ale secțiunii unei bare se înnădesc ca și când ar fi părți separate (fig. 13.10).

- Înnădirile prin sudare se fac cap la cap prin suduri de adâncime, evitându-se eclisele.

13.3.2.4. Înnădiri complexe. Înnădirea elementelor ce trebuie să transmită efortul provocat de momentul M la încovoiere și de forța tăietoare T se poate face atât prin nituire cât și prin sudare. Aceste elemente complexe solicitate sunt grinzile cu inimă plină.

- Înnădirea prin nituire se execută așezându-se platbande ca eclise exterioare pe tălpile profilului, iar pe inimă eclise duble, deoarece aceasta preia singură forța tăietoare (fig. 13.11).

- Înnădirea prin sudare se poate executa cap la cap. În cazul când sudarea în adâncime nu este suficientă se mai adaugă eclise pe tălpi (în special pe talpa întinsă) (fig. 13.12).

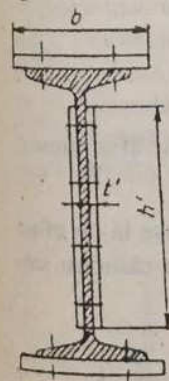


Fig. 13.11. Înnădiri complexe prin nituire.

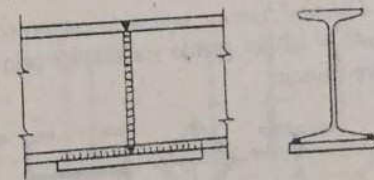


Fig. 13.12. Înnădiri complexe prin sudare cap la cap.

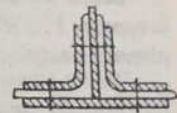


Fig. 13.10. Înnădirea barelor cu eclise prin nituire.

13.4. ELEMENTE DE CONSTRUCȚII METALICE ȘI CALCULUL LOR

13.4.1. Alcătuirea barelor supuse la eforturi axiale

Alcătuirea barelor supuse la eforturi axiale este determinată de mărimea eforturilor și de natura construcției din care face parte bara. Barele supuse la eforturi axiale fac parte din anumite elemente de construcție, cum sunt, de exemplu, *grinzile cu zăbrele*. Altele le formează elemente independente, cum ar fi cazul *stâlpilor, turnurilor* etc.

Barele cu solicitare relativ redusă sunt alcătuite din unul sau două profile laminate. Elementele au de regulă cel puțin o axă de simetrie care se află în planul de acțiune al rezultantei încărcărilor (fig. 13.13, a).

Barele puternic solicitate sunt alcătuite din profile mari (U sau I) solidarizate între ele continuu sau discontinuu (fig. 13.13, b).

13.4.1.1. *Calculul barelor supuse la întindere.* Barele supuse la întindere se verifică cu formula:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \sigma_a, \text{ unde}$$

A_n reprezintă aria secțiunii nete a barei;

σ_a – tensiunea admisibilă la întindere pentru materialul barei;

N – efortul axial (aceiași pe toată lungimea barei).

Verificarea rigidității barei se face cu relația:

$$\lambda_{max} \leq \lambda_a, \text{ unde}$$

λ_a reprezintă zveltețea admisibilă a elementului solicitat la întindere;

λ_{max} – zveltețea maximă a barei.

$$\lambda_{max} = \frac{l_f}{i_{min}}, \text{ unde}$$

l_f – lungimea de flambaj;

i_{min} – raza de girație minimă, $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$, unde I – moment de inerție al secțiunii;

A – aria secțiunii.

13.4.1.2. *Calculul barelor supuse la compresiune.* Barele supuse la un efort de compresiune N își pot pierde stabilitatea prin încovoiere, prin răsucire sau prin încovoiere-răsucire.

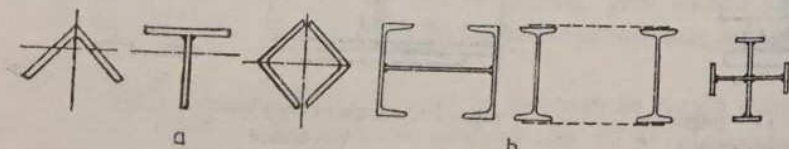


Fig. 13.13. Secțiuni ale barelor solicitate axial.

Verificarea se efectuează cu formula:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq \sigma_a, \text{ în care}$$

φ este coeficientul minim de flambaj al barei;

A – aria secțiunii barei.

σ_a – tensiunea admisibilă la compresiune.

13.4.2. Alcătuirea barelor supuse la încovoiere

13.4.2.1. *Elementele supuse la încovoiere* se alcătuesc astfel încât materialul să fie distribuit cât mai favorabil pentru preluarea eforturilor. În acest sens apar raționale secțiunile în formă de dublu T. Se recomandă ca elementele încovoiate să aibă secțiune simetrică față de planul de acțiune al forțelor.

Pentru solicitări reduse elementele încovoiate se pot realiza din profile laminate. Uneori elementele pot fi alcătuite din două profile solidarizate.

Dacă deschiderile și încărcările sunt mari este necesară întărirea profilului cu alte profile sau cu platbande prinse prin sudură (fig. 13.14, a).

În cazul unor solicitări importante elementele cu secțiune se realizează prin asamblarea unor platbande sau table groase, alcătuint așa numitele *grinzi cu inimă plină* (fig. 13.14, b).

Alcătuirea grinzilor este variată; ele pot fi în formă de dublu T, cu tălpi egale sau inegale.

13.4.2.2. *Calculul elementelor supuse la încovoiere.* Dimensionarea grinzii se face pe baza momentului maxim ce apare la încovoiere; verificarea la efectul momentului de încovoiere se face cu relația:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_a, \text{ unde}$$

σ este tensiunea maximă la încovoiere;

M_{max} – momentul maxim de încovoiere;

W_x – modulul de rezistență al secțiunii;

σ_a – rezistența admisibilă la încovoiere.

Totodată se ține seama de efectul forței tăietoare ce poate produce forfecarea în grindă. Forța tăietoare solicită inima grinzii.

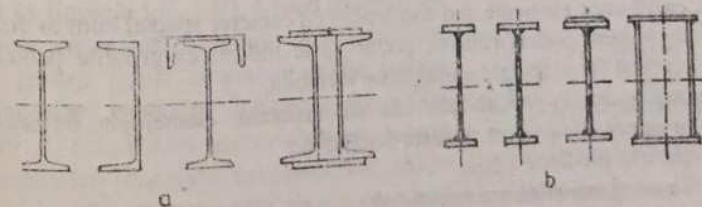


Fig. 13.14. Secțiuni ale barelor solicitate la încovoiere.

Verificarea la efectul forței tăietoare se face cu relația:

$$\tau = \frac{T_{max} \cdot S}{I_x \cdot I_t} \leq \tau_a, \text{ unde}$$

T_{max} – forța tăietoare maximă;

S – moment static al secțiunii brute;

I_x – moment de inerție al întregii secțiuni;

I_t – grosimea inimii;

τ_a – rezistența admisibilă la forfecare.

13.5. GRINZI CU INIMĂ PLINĂ

13.5.1. Generalități

Elementele solicitate la încovoiere sunt frecvent întâlnite în construcții metalice. Ele se realizează în general sub formă de grinzi cu inimă plină alcătuite din două tălpi legate între ele cu un element numit inimă formând o secțiune transversală în formă de „dublu T”. Forma cea mai avantajoasă a grinzilor cu inimă plină rezultă din studiul solicitărilor la care sunt supuse, astfel este eficient ca materialul să fie concentrat în cele două tălpi și dispus simetric la distanțe cât mai mari față de axa neutră a secțiunii transversale. Inima grinzii are un aport mai redus la rezistența grinzii și de aceea este indicat să se execute cu grosimea cât mai mică.

Talpa inferioară este solicitată la întindere, iar talpa superioară la compresiune. Când cele două tălpi nu sunt simetrice, la dimensionare se va ține seama de apariția unor solicitări suplimentare.

La stabilirea formei grinzilor cu inima plină trebuie să se țină seama de:

- destinația grinzii;
- mărimea solicitărilor;
- condițiile tehnologice de exploatare și întreținere;
- metoda de asamblare.

Astfel se pot alcătui grinzi din profile laminate sau grinzi cu secțiune compusă nituite sau sudate (fig. 13.15).

Pentru simplificarea execuției și mărirea productivității este recomandat să se execute în general grinzi cu înălțime constantă pe toată lungimea lor, adaptarea grinzilor la variația de solicitare urmând a se face numai prin modificarea dimensiunilor tălpilor.

În cazul unor elemente sau construcții cu caracter special cum ar fi: grinzile căilor de rulare, poduri rulante, poduri, este indicat ca grinzile principale cu inima plină să fie executate cu înălțime variabilă.

Pentru execuția mecanizată sau automatizată, elementele de alcătuire a grinzilor se pot chiar tipiza, aceasta ducând la:

- sporirea productivității;
- folosirea rațională a materialelor;
- reducerea manoperei și energiei înglobate la uzinare.

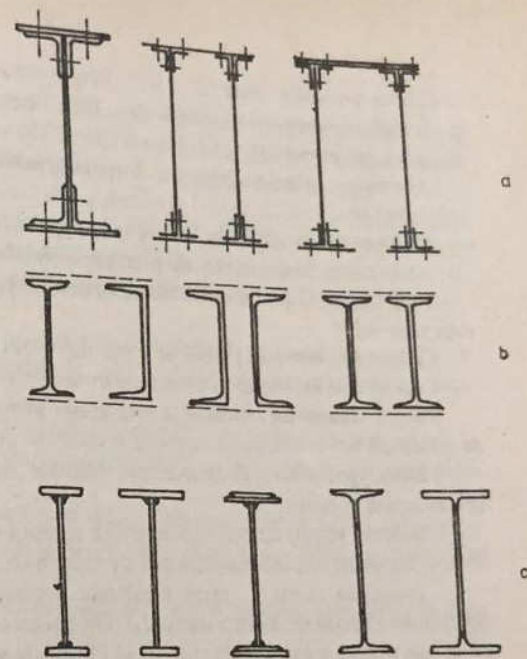


Fig. 13.15. Grinzi cu inimă plină:
a – nituite, b – laminate, c – sudate

13.5.2. Elemente constructive

Dimensiunile principale ale grinzilor cu inima plină se stabilesc în funcție de:

- destinație; condiții de rezistență;
- condiții de rigiditate; condiții constructive, etc.

Principala dimensiune a secțiunii transversale a grinzilor cu inima plină (fig. 13.16) este înălțimea inimii grinzii, h_i , care se poate determina cu relația:

$$h_i = k \sqrt{\frac{W}{I_t}} \text{ (cm)}$$

unde:

k – este un coeficient cu valoarea 1,3 pentru grinzi sudate și 1,2 ... 1,4 pentru grinzi nituite;

W – este modulul de rezistență al inimii grinzii (cm^3);

I_t – este grosimea inimii (cm).

Înălțimea grinzilor metalice cu inima plină variază în limitele 1/6 ... 1/3, 1 fiind deschiderea grinzii ce reprezintă lungimea între reazeme. Astfel, pentru grinzi simplu rezemate supuse unor încercări moderate înălțimea are valori între 1/9 ... 1/5. Pentru grinzi continue supuse unor încercări moderate înălțimea are valori între 1/15 ... 1/31. Pentru grinzi simplu rezemate supuse unor încercări mari (poduri rulante grele)

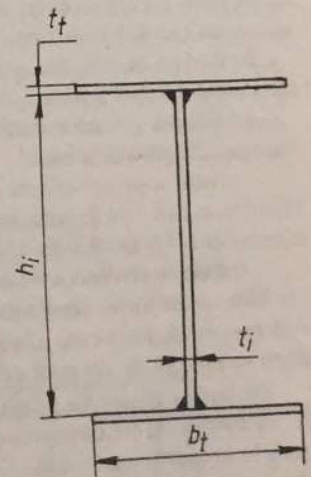


Fig. 13.16. Dimensiuni ale grinzilor cu inimă plină.

înălțimea are valori între $1/7 \dots 1/15$. Pentru grinzi continue supuse unor încărcări mari înălțimea are valori între $1/10 \dots 1/15$. Pentru grinzi de cadru pentru hale industriale înălțimea are valori între $1/15 \dots 1/25$.

Grosimea inimilor grinzilor. Inimile grinzilor trebuie să satisfacă următoarele condiții:

- să reziste solicitărilor la care sunt supuse (încovoiere, forfecare);
- să reziste fenomenelor de pierdere a stabilității locale (voalare);
- să reziste la fenomenele de coroziune, condiție ce limitează inferior grosimea inimilor.

Grosimea inimii de grindă se alege de obicei în limitele $h/100 \dots h/150$.

Cunoscând înălțimea și grosimea inimii de grindă rezultă aria respectivă.

Pentru alcătuirea rațională a secțiunilor grinzilor din oțel, în tălpi trebuie să se găsească $0,5 \dots 0,6$ din aria totală a secțiunii grinzii.

Tălpile grinzilor. Dimensiunile tălpilor de grindă trebuie să satisfacă următoarele condiții:

- lățimea tăpii, b_p , minimă pentru a asigura distribuția uniformă a tensiunilor, pe lățime și dimensiuni minime de gabarit (b_p se alege între $h/3 \dots h/5$);
- grosimea tăpii, t_p , mică (realizare a condiției $b_p/t_p \leq k_p$, unde k_p este un coeficient funcție de marca oțelului). De obicei talpa se execută dintr-o singură tablă, iar pentru a evita deformațiile și eforturile suplimentare grosimea acesteia, t_p , nu trebuie să depășească $35 \dots 45$ mm pentru construcții din oțel OL37 și $45 \dots 50$ mm pentru construcții din OL52. La solicitări mari se folosesc două table sudate care sunt solidarizate cu cordoane de sudură marginale, dar în acest caz platbandele sunt solicitate inegal pe lățimea lor.

Astfel, platbanda inferioară este solicitată mai mult la mijloc și mai puțin la margini, iar platbanda exterioară invers.

Stabilitatea generală a grinzii. În tehnica actuală se folosesc grinzi cu inima plină sudate cu excepția unui număr limitat de cazuri (din ce în ce mai rar) în care se execută construcții nituite.

În funcție de mărimea și natura solicitărilor, acestea se realizează cu o inimă sau cu două inimi (perete d..blu).

Alcătuirea grinzilor nituite este asemănătoare cu cea a grinzilor sudate cu următoarele particularități:

- pentru a prinde tălpile de inimă se introduc corniere, care se iau în considerare la calculul grinzii, astfel, fiind recomandat ca aria profilelor cornier să reprezinte cel puțin $0,3$ din aria tăpii;

- tălpile se pot executa din mai multe table (maximum 3 table).

Din cauza lipsei cornierelor tălpile grinzilor sudate au o rigiditate transversală mai mică decât cele nituite. Pentru a se evita ondulara marginilor, lățimea tăpii trebuie să fie cel mult de 30 ori grosimea ei.

Secțiunea grinzii cu inima plină determinată pe baza momentului încovoietor nu trebuie să fie constantă pe toată lungimea grinzii, deoarece momentul variază în lungul grinzii scăzând spre reazeme. Această variație a secțiunii se poate obține fie modificându-se înălțimea inimii, fie modificând secțiunea tălpilor, fie combinând ambele metode.

În practică modificarea înălțimii inimii este mai greu de realizat, necesitând un volum mare de muncă. La grinzile nituite modificarea secțiunii tălpilor se obține prin suprimarea uneia, a mai multor sau chiar a tuturor platbandelor, îmbunătățind comportarea la stabilitate locală evitarea reazemelor. În scopul de a stabiliții locale micșorează capacitatea portantă a grinzii, pe inimile grinzilor se dispun rigidizări. După poziția rigidizărilor față de axa longitudinală a grinzilor acestea se împart în:

- rigidizări transversale - așezate din distanță în distanță pe toată înălțimea inimii, precum și în secțiunile în care acționează forțe concentrate mari (fig. 13.17, a);

- rigidizări orizontale longitudinale dispuse în zonă comprimată a inimii în panourile cu zveltete ridicate, puternic solicitate; se intrerup în dreptul rigidizărilor transversale;

- rigidizări transversale scurte - dispuse între talpa direct încărcată și rigidizarea orizontală longitudinală; ele se prevăd numai când există și rigidizări orizontale longitudinale (fig. 13.17, b).

După secțiunile de pe grinda unde se folosesc rigidizările, acestea se împart în:

- rigidizări curente;
- rigidizări de reazem.

Este de remarcat faptul că pe plan mondial există o tendință de a elimina rigidizările de pe inimile grinzilor prin alcătuirea constructivă a secțiunilor astfel încât să nu fie necesare rigidizări. Rigidizările transversale împiedică realizarea pe căi automatizate a profilelor sudate, ducând la un consum mărit de materiale (tablă, electrozi), manoperă și la un consum sporit de energie electrică. În plus, sudarea rigidizărilor transversale introduce o stare de tensiuni reziduale, dezavantajoasă pentru comportarea grinzilor sudate la diverse solicitări. De aceea, trebuie evitată sudarea rigidizărilor transversale de tălpile întinse ale grinzilor supuse la solicitări dinamice variabile. În general, se recomandă sudarea rigidizărilor cu cordoane de sudură subțiri care trebuie să se intrerupte la o oarecare distanță de sudurile dintre tălpi și inimă; aceasta pentru a evita intersecțiile cordoanelor de sudură. Rigidizările pot fi realizate din fâșii de tablă, din corniere sau din table sudate.

La grinzile nituite, rigidizările se realizează din cornier.

Nervurile transversale sunt eficiente la solicitări ce privesc stabilitatea generală a grinzii și la eforturi de forfecare ce ar putea provoca voalarea inimii.

Nervurile longitudinale sunt eficiente la solicitări de încovoiere sau la eforturi complexe de încovoiere și compresiune.

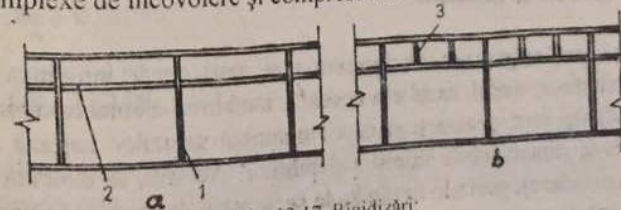


Fig. 13.17. Rigidizări:

1 - rigidizare cu element transversal, 2 - rigidizare cu element longitudinal, 3 - rigidizare cu element transversal scurt.

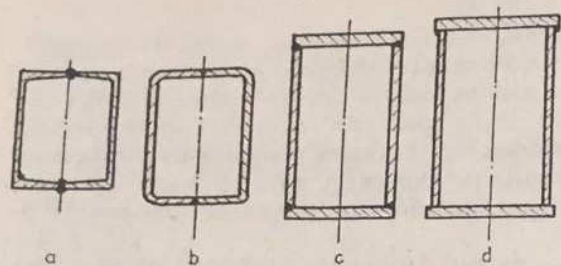


Fig. 13.18. Secțiuni prin grinzi cheson:
a - alcătuite din profile laminate, b - alcătuite din profile ambutisate, c, d - alcătuite din platbande

13.5.3. Grinzi cheson și grinzi expandate (ajurate)

În situațiile când din cauza încărcărilor sau deschiderilor foarte mari înălțimea grinzilor ar rezulta prea mare, sau când din anumite considerente înălțimea grinzilor este limitată la anumite valori, se obișnuiește ca grinzile să se realizeze cu două inimi, alcătuiind așa-numitele grinzi cheson.

Grinzile cheson au secțiunea dreptunghiulară, în general constantă pe toată lungimea, greutatea cea mai mică pe metru liniar.

Sunt grinzi cu secțiuni având momente de inerție foarte mari.

Grinzile cheson sunt alcătuite prin îmbinarea sudată a două profiluri laminate, ambutisate sau confecționate din platbandă, ori din grinzi nituite (fig. 13.18).

Grinzile cheson prezintă numeroase avantaje, cum ar fi:

- au preț de cost redus;
- sunt economice ca manoperă;
- se pot executa cu productivitate crescută datorită simplificării aprovizionării cu materiale de o singură grosime de tablă sau un număr redus de dimensiuni de platbandă.

Pentru reducerea consumului de oțel se pot alcătui grinzi expandate. Acestea se realizează de regulă din profile laminate „dublu T” prin tălere după anumite linii și resudare. Tăierea și resudarea profilelor se poate realiza cu mașini automate pe bază de program. După forma golurilor din inimă se deosebesc două tipuri de grinzi:

- grinzi cu goluri hexagonale (fig. 13.19, a);
- grinzi cu goluri circulare (fig. 13.19, b).

13.5.4. Înnădirea grinzilor

În multe cazuri grinzile au lungimi mai mari decât lungimea cu care se livrează laminatele, astfel încât ele necesită înnădirea elementelor lor componente. Înnădirile sunt necesare și când în lungul grinzilor variază secțiunea, modificându-se dimensiunile inimii sau tălpilor. Acestea se execută în atelier (uzină, întreprindere), grinzile livrându-se la sectorul de montaj la lungimi limitate de gabaritele utilajelor de transport. Înnădirile de montaj se execută la sol

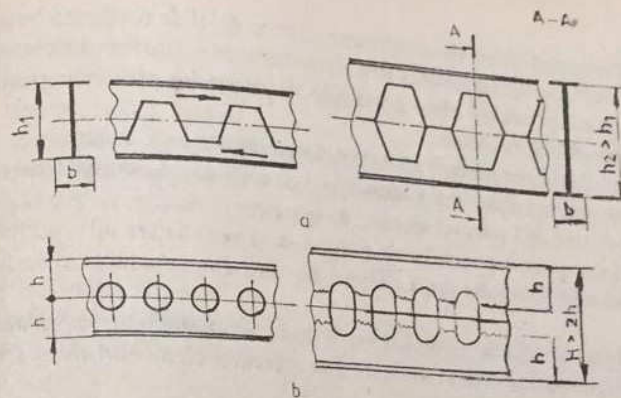


Fig. 13.19. Grinzi expandate (ajurate):
a - goluri hexagonale; b - goluri circulare

sau la poziția finală. Atât înnădirile de atelier cât și cele de montaj se realizează de obicei în două faze:

- înnădire provizorie cu șuruburi de montaj sau alte sisteme de prindere demontabile;

- înnădire definitivă, utilizând sudura, șuruburi, nituri.

Este important ca înnădirile să nu constituie puncte slabe ale grinzilor, alcătuiindu-se astfel încât să se restabilească continuitatea grinzii în ansamblu.

Înnădirile de atelier se execută prin sudare. La înnădirea grinzilor cu inima plină este preferabil să se execute operațiunea separat pentru talpă și inimă, apoi să se asambleze construcția la final. Înnădirile de montaj se execută prin sudare sau cu șuruburi de înaltă rezistență pretensionate. Pentru grinzi laminate se utilizează, de obicei, înnădirea cu eclise. La înnădirea prin sudură operațiunea se realizează decalat pentru talpă și inimă, dar în zone apropiate. Prelucrarea tălpilor pentru sudare se face astfel încât sudarea să se poată executa la montaj, în pozițiile cele mai convenabile (de sus în jos).

Se vor suda mai întâi tălpile, apoi inima grinzii.

La înnădirea grinzilor cu șuruburi de înaltă rezistență operațiunea se execută pentru talpa și inima cu eclise. Eclisele de înnădire a fiecărei tălpi se realizează în număr de 4 pentru așezarea corectă pe tălpile care pot avea anumite deformații (curbații) datorate sudurii.

La grinzile nituite înnădirea se face cu eclise, decalând sau nu înnădirea inimii de cea a tălpilor.

13.5. REAZEME

În general, construcțiile metalice nu se sprijină (leagă) direct unele de altele, ci întotdeauna prin intermediul unei construcții mai mult sau mai puțin dezvoltate, numită reazem.

Reazemele sunt piese ale construcției care au rolul de a asigura transmiterea reacțiilor diferitelor elemente către elementele de susținere sau către fundații și de a asigura în același timp condițiile de rezemare precizate prin schema statică a elementului respectiv.

Aparatul de reazem trebuie să îndeplinească următoarele funcțiuni:

- să concentreze reacțiunea într-un punct sau pe o suprafață foarte mică în mijlocul căreia se află punctul teoretic de reazem;
- să asigure poziția punctului de reazem indiferent de sensul reacțiunii;
- să permită deplasări după direcții pe care componentele reacțiunii sunt nule;
- să asigure condițiile de încadrare în limitele rezistențelor de calcul respectivelor admise în materialul din care este executat elementul de susținere sau fundația.

După condițiile de rezemare se deosebesc următoarele tipuri de aparate de rezemare:

- 1) *reazeme simple sau mobile* care permit rotiri și deplasări; prin aceste aparate de reazem se pot transmite numai reacțiuni normale pe direcția deplasării;
- 2) *reazeme fixe sau articulații* care permit numai rotiri în punctul de rezemare, dar nici o deplasare (translație) după vreo axă;
- 3) *reazeme încastrate* care nu permit nici deplasări nici rotiri.

Reazeme simple. Rezemarea directă. Soluția de rezemare directă este aplicată în cazul grinzilor mici realizate din profile laminate rezemate pe zidărie sau beton. Piesa se rezemă întâi pe pene metalice sau din lemn fiind fixată la nivelul necesar (1 ... 2 cm grosime), apoi se introduce un strat de mortar sau ciment. Placa de sprijin se va așeza puțin înăuntrul peretelui pentru a se evita sfărâmarea zidăriei. În cazul în care suprafața de contact este prea mică aceasta se mărește prin intermediul unei plăci cu suprafața mai mare, numită placa de reazem. Dacă plăcile sunt foarte mari ele se vor întări (fig. 13.20). Aceste plăci sunt utilizate și în situația în care rezemarea are loc pe grinzi, caz în care suprafața de sprijin este mică și nepotrivită pentru rezemare. Grosimea plăcii de reazem, e , se determină cu relația:

$$e = \sqrt{\frac{P \cdot a}{b \cdot \sigma_a}} \quad (\text{mm})$$

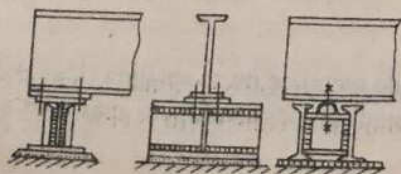
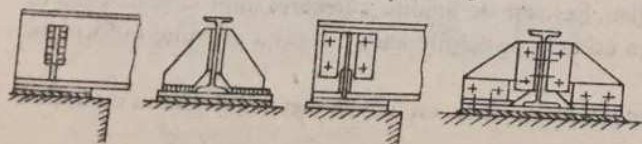


Fig. 13.20. Dispozitive de rezemare:
a - directă, b - pe grindă.

unde:

- P este sarcina, în N ;
 - a - lungimea plăcii, în mm ;
 - b - lățimea plăcii, în mm ;
 - σ_a - rezistența admisibilă a materialului, în N/mm^2 sau MPa .
- Lungimea plăcii se ia jumătate din înălțimea grinzii, plus 150 mm .
Adică trebuie satisfăcută relația:

$$a = h/2 + 150, \text{ mm}$$

unde h este înălțimea grinzii.

Dispozitive de rezemare. Rezemarea directă are unele inconveniente, astfel: la grinzile cu deschidere mare din cauza încovoierii grinzii presiunea pe suprafața de reazem nu mai este uniformă ci spre marginea inferioară; variația lungimii grinzii din cauza temperaturii este împiedicată de frecarea grinzii, producând solicitări suplimentare în construcție; apare chiar riscul de a se deteriora construcția.

Dispozitivele de reazem, care după modul de rezemare, pot fi: fixe, când nu permit nici un fel de deplasare; fixe cu articulații, care permit unele rotații, dar nu permit nici o deplasare; mobile, care permit deplasări pe unele direcții; mobile cu articulații, care permit atât rotații, cât și deplasări în anumite direcții.

Aparatele de reazem mobile se execută:

- a) cu frecare;
- b) cu rulouri.

Unul din cele mai simple aparate de reazeme fixe constă dintr-o simplă placă de sprijin curbată puțin la fața superioară pentru ca grinda care se rezemă pe ea să se poată roti. Pentru ca grinda să nu se poată deplasa și se dau găuri prin care trec buzoane fixe, numai în placa de reazem, dar nu și în grindă (fig. 13.21).

La reazemele cu articulații placa cilindrică se fixează pe una din grinzi, iar pe cealaltă se pun alte două plăci mici care au rolul de a împiedica deplasarea.

La construcțiile mai mari se alcătuiesc reazeme cu rulouri care sunt alcătuite din două piese: una superioară prinsă de piesa care se rezemă și alta inferioară care se prinde pe zidărie. Între aceste două piese se interpune un rulou cilindric (fig. 13.22). Poziția ruloului se menține prin niște proeminențe care ies din

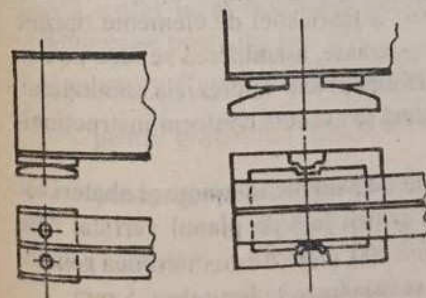


Fig. 13.21. Dispozitive de reazem fixe.

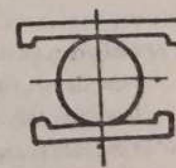


Fig. 13.22. Reazem cu rulouri.

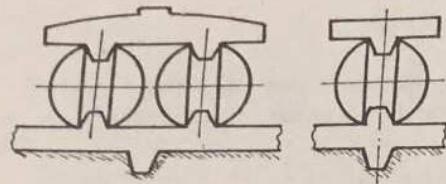


Fig. 13.23. Reazeme cu rulouri cu proeminente.

plăcile superioare și inferioare și care pătrund în șanțurile tăiate în capetele ruloului. Proeminențele au fețele laterale înclinate, pentru a permite mișcarea ruloului în anumite limite (fig. 13.23).

În cazul construcțiilor cu reacțiuni mari, cu grinzi ce depășesc în general 15 m lungime, se folosesc dispozitive de reazem mobile cu articulații (fig. 13.24).

13.6. TEHNOLOGIA DE FABRICAȚIE

Asamblarea grinzilor cu inima plină se face mai rar prin nituire deoarece au o tehnologie complicată și dezavantajoasă din punct de vedere economic (consum mare de metal și manoperă).

Asamblarea prin sudare este un procedeu simplu și avantajos. În planul operațiilor pentru asamblarea grinzilor se înscriu: fazele în ordinea firească în care se succed începând cu îndreptarea și debitarea materialelor, debavurarea, trasarea, prelucrarea marginilor, asamblarea provizorie sau preliminară prin prindere cu puncte de sudură, efectuarea operațiilor de sudură definitivă: între operații se prevăd controale interfazice. Uneori este necesară includerea operațiilor de redresare a ansamblului și/sau de detensionare a cordoanelor de sudură.

La execuția în serie a elementelor grinzii, a fabricației de elemente tipizate sau când realizarea impune cote sau toleranțe strânse, asamblarea se face pe dispozitive, pentru a se evita apariția unor deformații sau imprecizia montajului. Verificarea și încercările cordoanelor de sudură se execută conform instrucțiunilor specifice, remediindu-se defectele.

La montajul grinzilor cu inima plină se admit anumite toleranțe și abateri ca:

- devierea tălpii superioare la mijlocul grinzii față de planul vertical care trece prin axe reazemelor; nu poate depăși $h/5000$, unde h este înălțimea grinzii;
- abaterea înălțimii grinzilor; trebuie să se încadreze în limitele ± 5 mm;
- abaterea lungimii grinzilor între reazeme; la deschideri sub 25 m se admite în limitele ± 10 mm, iar la deschideri mai mari se admite în limitele ± 20 mm.

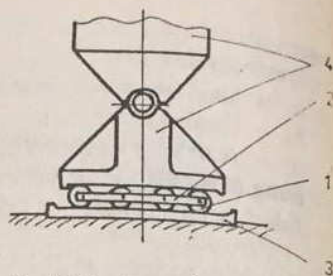


Fig. 13.24. Aparat de reazem mobil cu articulații:
1 - rulouri, 2 - biele, 3 - placă de reazemare,
4 - reazem fix cu articulație.

Execuția corespunzătoare și respectarea cotelor și toleranțelor prevăzute în desene precum și respectarea disciplinei și indicațiilor tehnologice asigură calitatea cerută bunei funcționări a ansamblului.

13.6. GRINZI CU ZĂBRELE

13.6.1. Tipuri de grinzi cu zăbrele

Grinzile cu zăbrele se obțin prin înlocuirea inimilor pline ale grinzilor cu un ansamblu de bare dispuse într-un sistem, de obicei triunghiular, care leagă tălpile între ele. Ele se folosesc pentru deschideri mari, pentru fermele acoperișurilor, la grinzile podurilor de cale ferată etc., fiind sisteme nedeformabile de bare drepte, prinse între ele la capete, prin noduri considerate articulate (fig. 13.25).

Conturul $ABC'D'E'F'G'$, al părții superioare, se numește *talpă superioară*, iar cel al părții inferioare, $A'B'C'D'E'F'G'$, *talpă inferioară*. Barele din interiorul acestui contur, când sunt înclinate ca BC' , $C'D$ etc. se numesc *diagonale*, iar când au poziție verticală se numesc *montanți*. Punctele $A, B, B', C, C', \dots, G$ se numesc *nodurile grinzii cu zăbrele*. Distanța dintre noduri se numește *câmp sau panou*.

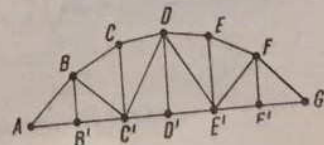
Diagonalele și montanții leagă nodurile între ele. Când aceste bare nu se pot prinde singure între ele, prinderea și deci formarea nodurilor se face prin intermediul unor plăci de oțel numite gusee.

Solicitările la care sunt supuse barele componente ale grinzii dau naștere unor forțe care acționează numai la întindere și compresiune.

Pentru aceeași încărcare totală a grinzii, eforturile în tălpi sunt cu atât mai mici cu cât grinda este mai înaltă, în diagonale însă, eforturile nu se reduc. Mărindu-se deci înălțimea grinzii se poate reduce greutatea tălpilor, dar în același timp crește greutatea diagonalelor, fiindcă acestea se lungesc în aceeași proporție. Există deci o înălțime optimă a grinzii pentru care greutatea totală a materialului din grindă este minimă. Calculul arată că această înălțime optimă este determinată de condiția ca greutatea tălpilor să fie egală cu greutatea diagonalelor. Acest criteriu este aproximativ și el poate fi completat cu unele criterii practice care stabilesc limitele pentru înălțimea grinzilor, în funcție de deschiderea l , astfel încât rigiditatea grinzii să fie asigurată. Pe baza acestor criterii înălțimea se poate lua față de l :

- pentru grinzi cu tălpi paralele între $\frac{l}{10}$ și $\frac{l}{6}$;
- pentru grinzi cu tălpi înclinate între $\frac{l}{9}$ și $\frac{l}{5}$;
- pentru grinzi triunghiulare între $\frac{l}{4}$ și $\frac{l}{2}$ (la vârf).

Fig. 13.25. Grinzi cu zăbrele.



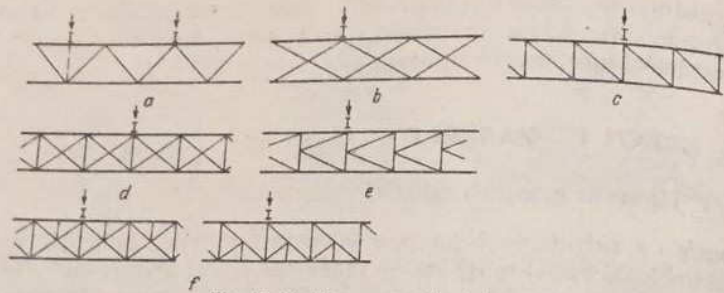


Fig. 13.26. Dispunerea zăbrelelor.

Zăbrelele care alcătuiesc grinzile trebuie dispuse în sistemul triunghiular, dreptunghiular sau mixt, având următoarele forme:

- zăbrele dispuse în V (fig. 13.26, a) sau în X (fig. 13.26, b), alcătuite numai din diagonale, formând un sistem simplu, cu noduri mai puțin numeroase;
- zăbrele dispuse în N (fig. 13.26, c) sau în X cu montanți (fig. 13.26, d), formate din diagonale și montanți cu noduri mai dese;
- zăbrele dispuse în K (fig. 13.26, e) cu semidiagonale și montanți, utilizabile când panourile fermei sunt mici;
- zăbrele cu bare suplimentare (fig. 13.26, f) folosit atunci când trebuie redusă lungimea de flambaj a barelor sau trebuie preluate unele sarcini care acționează între noduri.

În figura 13.27 sunt reprezentate câteva tipuri de grinzi cu zăbrele întâlnite curent în construcțiile metalice.

Secțiunile tălpilor se compun simetric față de planul grinzii. Forma cea mai simplă pentru talpa comprimată este din două corniere cu aripioare alăturate, aceste aripi având la noduri guselele de care se prind zăbrelele (fig. 13.28). Cornierele pot fi cu aripi inegale, aripile mai lungi fiind așezate în planul în care este necesară o rigiditate mai mare a barei.

Tălpile mai pot avea secțiuni în T, alcătuite din platbande și corniere, din două profile U puse alăturat sau numai din platbande; acestea din urmă necesită însă multă manoperă la asamblare.

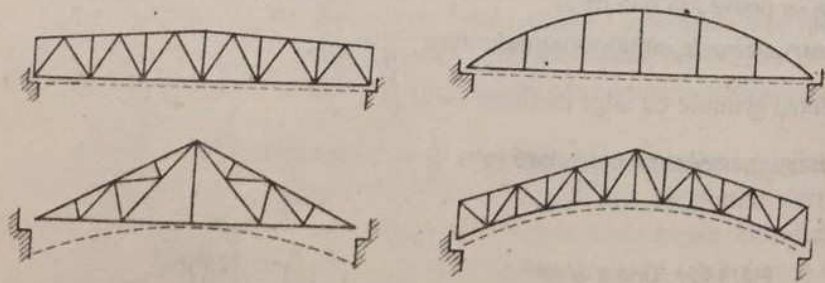


Fig. 13.27. Tipuri de grinzi cu zăbrele.

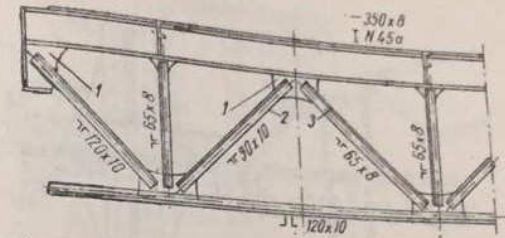


Fig. 13.28. Detaliu de grindă cu zăbrele:
1 - guseu; 2, 3 - zăbrele

13.6.2. Elemente dimensionale și componente ale grinzilor

13.6.2.1. Generalități. Barele care compun o construcție metalică se întâlnesc între ele și se assemblează în punctele de întâlnire. Punctele de întâlnire a barelor din grinzi cu zăbrele se numesc *noduri*. În noduri, barele se assemblează direct sau prin intermediul guseelor, prin nituire sau prin sudare, foarte rar prin înșurubare. În mod obișnuit, la nodurile grinzilor cu zăbrele se prind bare solicitate numai axial. Dacă barele supuse la eforturi axiale se intersectează, ele alcătuiesc o *încrucișare*.

Punctele de întâlnire sau de încrucișare a barelor, care pe lângă eforturi axiale sunt supuse și la eforturi de încovoiere în planul axelor lor, se numesc *colțuri* (spre deosebire de noduri). Dacă aceste puncte sunt locuri de întâlnire sau de încrucișare a unor bare supuse la încovoiere într-un plan perpendicular pe axele barelor, ele se numesc *ramificații*.

Dacă la punctele de întâlnire sau de încrucișare a barelor legătura se realizează prin șuruburi, cu scopul de a se reduce rigiditatea îmbinării respective, legătura se consideră articulată.

13.6.2.2. Noduri obișnuite. Mijloacele pentru formarea nodurilor. Când îmbinarea barelor se execută fără gusee, prinderea se numește directă și formarea nodului este simplă și economică. Dacă este posibil, la o construcție nituită axele barelor se așază cu linia centrelor de greutate ale secțiunii în planul grinzii; la construcțiile sudate, aceasta este întotdeauna posibil, dar la cornierele nituite nu se poate realiza această condiție. În acest caz, centrarea nituirii se poate asigura așezându-se barele astfel încât liniile de nituire să cadă în planul grinzii și să întâlnească axa acesteia în același punct.

În practică se evită, pe cât posibil, secțiunile asimetrice (fig. 13.29), ele se aplică numai la eforturi mici, cum ar fi, de exemplu, la zăbrelele de solidarizare.

Dimensionarea guseelor. Determinarea eforturilor în guseu constituie o problemă dificilă din care grosimea guseului se determină pe baza calculului îmbinării barelor. În funcție de diametrul niturilor folosite, grosimea guseului se ia egală cu cei puțin două treimi din

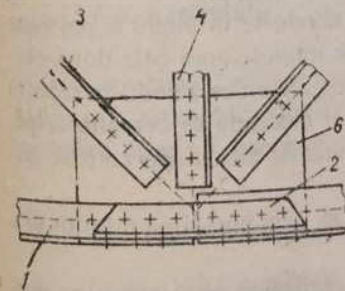


Fig. 13.29. Nod cu talpă asamblată:
1 - talpă (din două bucăți); 2 - element (echșă) pentru prinderea tălpii; 3, 4 - bare; 5 - guseu

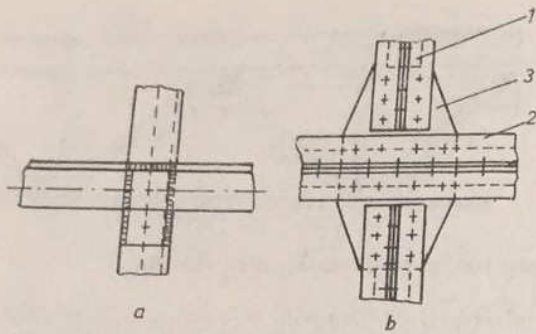


Fig. 13.30. Încrucișare de bare alăturate:
1, 2 - bare, 3 - guseu.

diametrul găurilor de nit, dar nu mai subțire decât 8 mm. În mod practic, grosimea guseului se ia pentru eforturi:

- până la 150 kN, egală cu 8 mm;
- de la 150 la 250 kN, egală cu 10 mm;
- de la 250 la 350 kN, egală cu 12 mm;
- peste 350 kN, egală cu 14 mm.

Marginile guseului trebuie să formeze cu axa barei unghiuri pe cât posibil egale și, în orice caz, mai mari decât 15° . În unele cazuri, guseele se fac cu tăieturi curbe, care duc la o scurgere mai uniformă a eforturilor și, în același timp, sunt mai estetice.

13.6.3. Încrucișări

Încrucișările se execută în scopul solidarizării a două bare care trec una pe lângă alta, pentru ca să nu se frece reciproc prin mișcările pe care le-ar face și să nu vibreze. Prinderea se poate face *direct* (fig. 13.30, a) sau prin *intermediul unei plăci* (fig. 13.30, b) dacă între bare este o distanță mică (fig. 13.26).

13.6.4. Colțuri

La un colț se pot întâlni două, trei sau patru bare și anume:

- *colț între două corniere* care se realizează tăindu-se în unghi o porțiune dintr-una din aripile cornierelor; se sudează sau se nituiesc apoi cele două corniere cu o eclisă. Colțul se poate realiza și cu un singur cornier, tăindu-se o parte unghiulară dintr-una din aripile cornierului și apoi îndoindu-se cealaltă aripă, până când marginile tăieturii se apropie din nou una de alta, după care se sudează (fig. 13.31, a);

- *colț între două profile I*, care se realizează prin înnădirea tălpilor și a inimii prin nituire cu eclise (fig. 13.31, b);

- *colț între două grinzi cu inimă plină*, care se realizează prin înnădirea prin nituire a tuturor elementelor constructive (tălpi, corniere și inimi), folosindu-se eclise (fig. 13.31, c). Unghiul interior se întărește cu corniere și platbande;

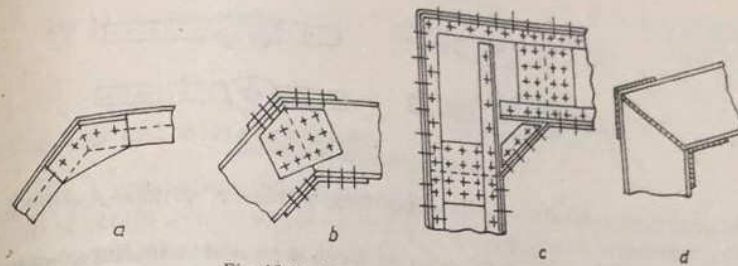


Fig. 13.31. Diferite construcții de colțuri.

- *colț între două profile I*, realizat printr-o îmbinare sudată în adâncime și întărită cu eclise pe tălpi (fig. 13.31, d);

- *colț cu patru bare cu inimă plină*, realizat printr-o îmbinare sudată în adâncime. Un astfel de colț se realizează, de obicei, păstrându-se continuitatea celor două bare cu solicitări principale.

Soluția care trebuie adoptată, în fiecare caz în parte, depinde foarte mult de forma secțiunii barelor și de importanța solicitărilor la care sunt supuse legăturile barelor la nod.

13.6.5. Ramificații

Îmbinările la ramificații prezintă aspecte foarte variate, după felul grinzilor care se prind și după importanța solicitărilor la care sunt supuse aceste grinzi. Aceste îmbinări se fac fie sudate și cu șuruburi și, uneori nituite. Când solicitările în îmbinare sunt reduse, o grindă alcătuită dintr-un profil I se prinde de altă grindă cu două corniere (fig. 13.32). O îmbunătățire a acestei prinderi este arătată în aceeași figură. Ea constă în prelungirea uneia din cele două corniere până la talpa grinzii, obținându-se, prin aceasta, o rigidizare a inimii în dreptul ramificației și, în consecință, o rezistență mărită a acesteia. Una dintre tălpile profilului se taie, pentru ca să treacă cornierul lung.

13.6.6. Articulații

La grinzile cu zăbrele demontabile se întâlnesc de obicei noduri îmbinate cu bolțuri de articulații (fig. 13.33). Aceste articulații se mai aplică în construcții metalice la grinzi continue și la grinzi independente rezemate pe alte elemente

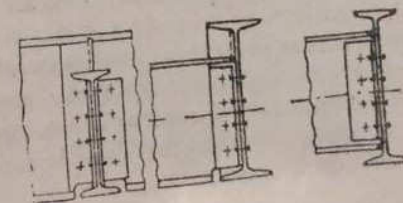


Fig. 13.32. Ramificație.

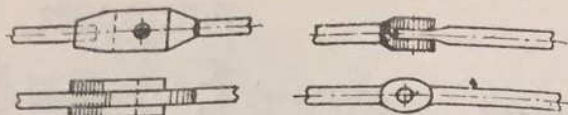


Fig. 13.33. Articulații cu bare rotunde.

de construcții, pentru a asigura transmiterea sarcinilor, evitându-se în același timp transmiterea unor momente.

Platbandele se articulează cu eclise. Dacă la un nod se întâlnesc mai multe bare, bara centrală se execută dintr-o singură platbandă, iar celelalte se execută din elemente perechi, pentru a asigura simetria și transmiterea centrală a eforturilor, evitându-se astfel solicitările suplimentare ale nodului.

Bolțurile de articulație se calculează la forfecare, la presiunea pe gaură și, dacă este cazul, la încovoiere. *Articulațiile cu praguri* se dimensionează la presiunea între praguri, *bolțurile* – la întindere, iar *niturile cornierelor* la forfecare.

13.6.7. Contravântuiri

Pentru a se asigura rigiditatea transversală a unei construcții, ca, de exemplu, la un pod rulant, cele două grinzi principale din plan vertical se leagă cu contravântuiri. Acestea preiau forțele transversale care acționează asupra podului și le transmit la reazeme; de asemenea, prin intermediul acestora, se egalizează eventualele solicitări neegale, produse în cele două grinzi principale de către sarcinile verticale nesimetrice. În plus, contravântuirile așezate în planul tălpilor comprimate ale grinzilor au și rolul de a reduce lungimea de flambaj a barelor comprimate.

Din punct de vedere constructiv, contravântuirile sunt grinzi cu zăbrele formate prin legarea nodurilor tălpilor grinzilor principale cu bare, așa încât unele elemente sunt comune atât grinzilor cât și contravântuirilor.

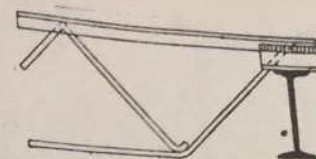
Din punctul de vedere al poziției și al funcțiunii, se deosebesc:

– *contravântuiri de frânare*, care preiau forțele orizontale longitudinale ale podului, produse de frânare sau de tracțiune și le transmit grinzilor principale sau reazemelor;

– *contravântuiri longitudinale* așezate în planul tălpilor grinzilor principale, formând cu acestea o grindă cu zăbrele orizontală în tot lungul podului și se numesc *contravântuiri orizontale superioare* – dacă sunt așezate în planul tălpilor superioare sau *inferioare* – dacă sunt în planul tălpilor inferioare. Dacă tălpile grinzilor podului sunt curbe în planul vertical, iar contravântuirile le urmăresc curba lor, ele se numesc *contravântuiri cilindrice*.

– *contravântuiri transversale* dispuse într-un plan vertical transversal podului. În general, acestea se așază în planul montanților sau al diagonalelor. Scopul acestora este să transmită forțele orizontale, transversale podului, de la o talpă care nu are contravântuiri orizontale, la alta care are astfel de contravântuiri, precum și să mărească rezistența podului la acțiunea momentelor de torsiune produse de încărcările nesimetrice.

Fig. 13.34. Grinzi ușoare cu zăbrele.



13.6.8. Grinzi ușoare cu zăbrele

Pentru a corespunde solicitărilor și deschiderilor diverse impuse de noile utilizări și pentru a se realiza în același timp economiile de metal au fost realizate așa-numitele construcții de grinzi tip ușor, executate din oțel rotund (tip fier beton) sau din țevă.

Aceste două tipuri păstrează configurația geometrică a grinzilor cu zăbrele, tălpile și zăbrelele fiind executate de data aceasta din oțel rotund, respectiv din țevă, îmbinările (nodurile) executându-se prin sudarea directă a acestora sau prin intermediul guseelor (fig. 13.34).

13.6.9. Tehnologia de execuție și asamblare

Grinzile cu zăbrele se execută, în general, asamblate prin sudură, fiind mult mai ușor de realizat și, mai rar, prin nituire. Asamblarea prin sudură se pretează la tipizarea și modularea elementelor componente ale grinzilor cu zăbrele, putându-se realiza apoi diferite forme ale acestor grinzi, în dimensiuni variabile și în limite largi, în funcție de destinația grinzii.

14.

STĂLPI, TURNURI, PILONI

14.1. ELEMENTE COMPONENTE

Din categoria barelor comprimate, adică a stâlpilor, turnurilor și pilonilor, fac parte:

- stâlpii metalici pentru liniile de transport energie electrică;
- turnurile și pilonii pentru antenele de radio și televiziune;
- turnurile de extracție pentru ascensoarele de mină;
- turlele metalice pentru sondele de petrol și de gaze naturale;
- turnurile de montare;
- catargele, coloanele, bigile și pontilii, în construcțiile de nave;
- catargele macaralelor - turn și Derrick;
- stâlpii halelor de construcție metalică;
- stâlpii căilor de rulare pentru podurile rulante;
- stâlpii de susținere pentru platformele metalice și pentru diverse agregate industriale grele (de exemplu, furnalele).

Stâlpii sunt construcții metalice verticale, uneori cu o oarecare înclinare, care preiau sarcini grele și le transmit altor părți de construcții și, în general, fundațiilor. Ei sunt alcătuiți din bare depărtate, legate între ele prin zăbrele sau benzi și, în unele cazuri, din bare simple cu secțiunea plină. La capete, stâlpii sunt prevăzuți adeseori cu piese de rezemare (fig. 14.1). Stâlpii sunt supuși unor solicitări complexe, dintre care cele mai importante sunt axiale; alături de acestea apar solicitările excentrice, orizontale și de încovoiere.

Stâlpii, turnurile și pilonii sunt considerați ca bare supuse la compresiune, ale căror secțiuni sunt determinate în condițiile de flambaj. Aceste condiții impun ca secțiunile acestor bare să aibă momente de inerție mari.

Stâlpi dintr-un singur element, adică dintr-un singur profil laminat, se fac numai pentru eforturi și înălțimi mici, ca în cazul susținerii conductelor (fig. 14.2).

Ca bare de oțel se folosesc corniere cu aripi mari și subțiri (fig. 14.3, a). În unele cazuri se alcătuiesc secțiuni din profile U sau I, așezate la oarecare distanță și legate

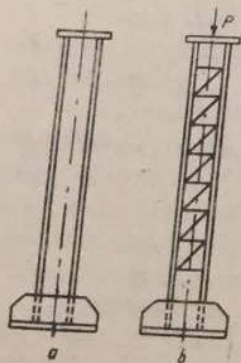
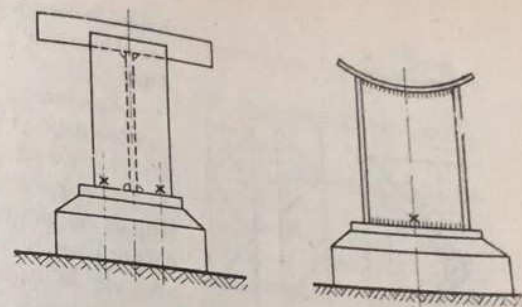


Fig. 14.1. Stâlpi cu piese de rezemare.

Fig. 14.2. Stâlpi pentru susținerea conductelor.



între ele prin plăcuțe cu zăbrele (fig. 14.3, b). Adeseori aceste profiluri se întăresc cu platbande așezate pe tălpi. Se utilizează însă și secțiuni din două sau patru corniere sau din două profile U sudate direct sau prin platbande (fig. 14.3, c). Pentru stâlpii mai grei se utilizează secțiuni din profile I în cruce, precum și secțiuni mai mari, alcătuite din platbande sudate în T sau I (fig. 14.3, d, e, f și g).

Barele comprimate compuse din mai multe elemente se prind astfel încât să lucreze în condiții cât mai apropiate de cele ale unei bare formate dintr-un singur element, cu deosebirea că solicitarea la flambaj impune ca intervalele dintre prinderile de solidarizare să fie mai mici decât la barele întinse sau la cele supuse la încovoiere. La barele nituite, dacă se notează cu t grosimea platbandei și cu d diametrul găurii de nit, distanțele între șirurile niturilor de margine se iau în sens longitudinal egale cu 7-15 t , iar în sens transversal 10-20 t . La barele sudate, distanțele dintre marginile sudurilor întrerupte nu trebuie să fie mai mari ca 15 t ; în sens transversal, distanța dintre coordonatele de sudură se ia maximum 25 t sau 200 mm. La piesele mai late, executate din platbande sub 25 mm grosime, se fac suduri în găuri.

Solidarizarea cu plăci continue se aplică la barele cu secțiuni pline, la care tălpile sunt legate prin inimă și la barele tălpilor cu perete dublu. Pentru a nu se consuma mult material, piesa de legătură (solidarizare) trebuie să facă parte din secțiune.

Solidarizarea cu plăcuțe (fig. 14.4) se aplică la barele cu secțiuni din elemente depărtate. Lățimea c a plăcii de la capetele barelor se ia aproximativ egală cu distanța a dintre axele pieselor. Plăcile intermediare se execută mai înguste; lățimea acestora se ia între 0,7 h și 1 h , la piesele nituite, și 0,5 h și 0,8 h la piesele sudate, dar nu mai înguste decât 150 mm,

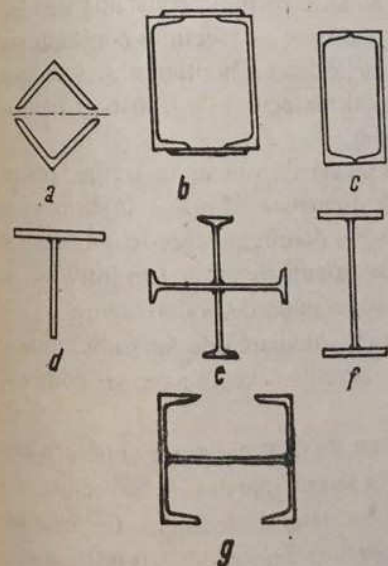


Fig. 14.3. Secțiuni sudate la stâlpi.

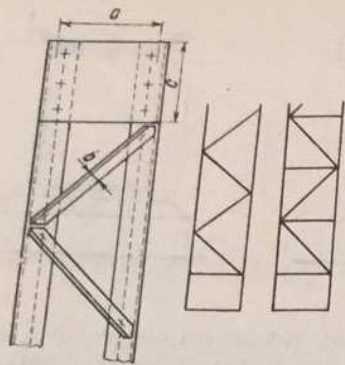


Fig. 14.4. Solidarizarea cu plăcuțe și zăbrelețe.

a zăbrelețelor se ia (la cele nituite) egală cu cel puțin $3d$, d fiind diametrul găurii de nit. Înclinarea diagonalelor față de elementele ce se solidarizează se ia în jurul a 45° . Sistemul de zăbrelețe poate fi triunghiular, fără sau cu montași suplimentari. Lanțul de zăbrelețe poate fi întrerupt; la locul de întrerupere se pun plăci mai înguste decât cele de la capete.

14.2. TEHNOLOGIA FABRICĂRII STÂLPILOR, TURNURILOR ȘI PILONILOR

Stâlpii, turnurile și pilonii, în general, nu au o secțiune constantă pe toată înălțimea. De aceea, execuția se face pe tronsoane de secțiuni constante sau apropiate care sunt apoi asamblate fie în atelier, dacă înălțimea și secțiunea maximă se încadrează în lungimea și gabaritul mijlocului de transport până la locul de montaj final, fie pe șantierul de montaj.

Stâlpii destinați halelor industriale se execută de obicei în trepte, primul tronson de bază având secțiunea maximă; de asemenea, el are și înălțimea cea mai mare. Stâlpii cu secțiune mare se întăresc cu diafragme care leagă ramurile verticale ale stâlpului; diafragmele se așază la distanță de circa 4 m între ele, pe un tronson de secțiune uniformă prevăzându-se cel puțin două diafragme.

La stâlpii cu secțiuni variabile în trepte, la schimbarea de secțiune, proiectantul adoptă soluții constructive care să permită executarea și controlul sudurilor.

Pentru cadrele halelor industriale de tip greu, de înălțime mare și pentru care se prevăd căi de rulare pentru poduri rulante cu sarcini mari la cârlig, se execută stâlpi cheson, pe fețele laterale practicându-se uneori decupări de ușurare. Acești stâlpi, față de cei cu zăbrele, au avantajul unei mari productivități, la execuție debitarea făcându-se pe mașini automate cu flacără oxiacetilenică.

h fiind înălțimea profilelor care compun secțiunea. Grosimea plăcuțelor se ia de cel puțin 8 mm.

La piesele sudate, cordoanele de sudură se continuă puțin și pe latura perpendiculară celei pe care se execută prinderea efectivă.

La piesele nituite elementele se fixează pe stâlp cu cel puțin două nituri, pentru plăcuțele intermediare, și cu cel puțin trei nituri, pentru plăcuțele de capăt. La solicitări importante, numărul niturilor se determină prin calcul.

Solidarizarea cu zăbrelețe (v. fig. 14.4) se aplică secțiunilor compuse din elementele depărtate. Zăbrelețele se pot executa din platbande, corniere sau profile U. La capete, elementele depărtate se leagă cu plăci.

prelucrarea marginilor pe mașini de teșit, iar asamblarea, prin cordoane de sudură continuă pe mașini automate.

Stâlpii cheson pot fi executați dintr-o bucată, chiar atunci când sunt cu secțiuni diferite (stâlpi în trepte).

Asamblarea stâlpilor, turnurilor și pilonilor se face prin sudare. În cazuri speciale, când locul de montaj nu este alimentat cu energie electrică (de exemplu, pe munți) și când stâlpii sau pilonii nu au putut fi transportați complet asamblați (stâlpii pentru transportul energiei electrice, de înălțime mare și cu secțiune mare la bază), tronsoanele executate se assemblează definitiv la locul de exploatare prin șuruburi sau mai frecvent prin nituire. Acestor tronsoane li se face în atelier o preasamblare de montaj, executându-se găurile pentru șuruburilor sau niturile de asamblare. Din cauza deformărilor ce survin în timpul transportului găurile se alezează la locul de montaj.

Confecționarea tronsoanelor în atelier se face pe platforme amenajate cu dispozitive de asamblare și tacheți pentru susținere. Acestea se realizează în poziție culcată, avându-se grijă ca săgeata care s-ar naște datorită greutatei proprii să fie evitată prin susținerea în cât mai multe puncte a stâlpului în timpul confecționării lui.

14.3. TIPURI DE STÂLPI

Dezvoltarea în țara noastră a unor ramuri industriale, ca metalurgia feroasă și neferoasă, chimia, energia electrică și altele, a impus găsirea unor soluții tehnice moderne de execuție. Astfel, s-au realizat turnuri spațiale pentru susținerea unor coloane sau coșuri de mare înălțime la diferite combinate chimice și petrochimice din țara noastră. De remarcat că unul din aceste turnuri are 177 m înălțime (fig. 14.5), făcând în același timp și serviciul de turn al stației releu de televiziune.

La combinatele chimice și petrochimice se întâlnesc nenumărate aparate chimice, cum sunt coloanele de absorbție, de distilare sau de rectificare și rezervoare diverse, susținute de turnuri spațiale la mari înălțimi. Transportul energiei electrice de înaltă tensiune a impus construirea de stâlpi de mare înălțime (fig. 14.6) și de mare rezistență, pentru susținerea conductelor electrice. Pentru industria petrolieră s-au executat turle metalice destinate instalațiilor de foraj, care sunt apreciate și peste hotare (fig. 14.7). Construcția, interesantă prin simplitatea și suplețea ei, a fost posibilă datorită soluției adoptate și anume, executarea unor stâlpi spațiali din țevi dispuse, în planul de secționare a stâlpului, în

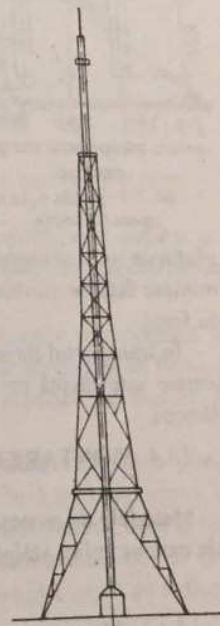


Fig. 14.5. Turn pentru priza de aer pentru fabrica de amoniac.

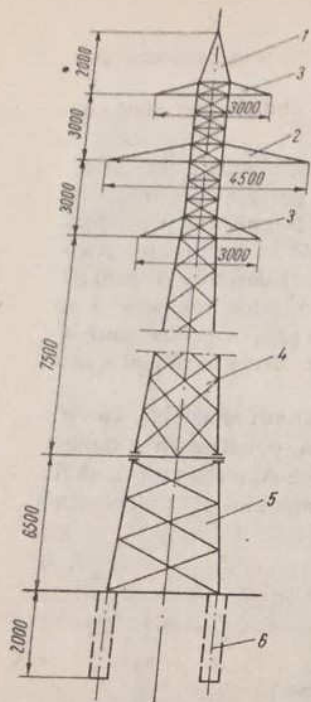


Fig. 14.6. Stâlp metalic pentru transportorul energiei electrice:

1 - vârf, 2, 3 - console, 4, 5 - tronsoane, 6 - fundație.

vârfurile unui triunghi isoscel. Aceasta a permis realizarea unei greutatei proprii minime față de eforturile statice și dinamice la care trebuie să lucreze instalația de foraj.

În transportul turistic pe munte, suspendarea cablurilor la telecabine și tele-scaune este făcută pe stâlpi înalți și de mare rezistență, bine ancorați în solul stâncos.

14.4. MONTAREA STÂLPILOR

Metodele de montare diferă pentru stâlpii cu înălțime mică (sub 10 m), față de cele care se aplică stâlpilor cu înălțime mare.

14.4.1. Montarea stâlpilor de înălțime mică

Aceasta se poate realiza prin mai multe metode. Alegerea metodei este legată atât de utilajul de ridicare de care se dispune pe șantier, de mărimea stâlpului (atât ca greutate, cât și ca gabarit), cât și de suprafața locului de montaj.

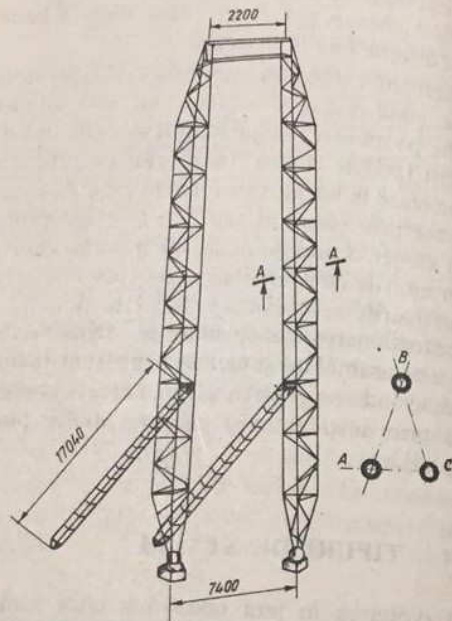


Fig. 14.7. Turlă pentru instalația de foraj.

Astfel, ținând seama de cele de mai sus, se alege metoda cea mai potrivită, dintre următoarele:

- stâlpul complet montat la sol este ridicat prin rotirea în jurul unui ax orizontal (fig. 14.8), fixat de soțul metalic betonat în fundație, două din picioarele stâlpului fiind prevăzute cu ochiuri de articulație prin care trece acest ax (fig. 14.9);

- stâlpul complet montat la sol este ridicat în picioare și apoi așezat pe fundație (fig. 14.10);

- stâlpul se montează prin ridicarea tronsoanelor și prin îmbinarea lor la înălțime, unul după altul;

- stâlpul se montează prin ridicarea și asamblarea barelor la înălțime una câte una.

Unele dintre aceste metode pot fi combinate când condițiile locale nu permit desfășurarea montajului numai după o singură metodă.

Pentru simplificarea montajului după primele trei metode, este indicat ca stâlpii să fie livrați în tronsoane complet asamblate în atelier iar îmbinările de montare să se execute prin șuruburi.

În cazul *ridicării prin rotirea* în jurul axului fixat pe soțul se montează la bază, perpendicular pe stâlpi, un catarg de lemn 1, în vârful căruia se fixează scripetele 2, peste care se trece cablul de ridicare acționat de troliul 3, (v. fig. 14.8, a).

După ce centrul de greutate al stâlpului a depășit verticala ridicată în punctul de rotație, stâlpul se așază de la sine. El trebuie să fie însă ancorat, pentru ca nu cumva să se răstoarne (v. fig. 14.8, c) din cauza vântului, înainte de a fi fost fixat definitiv pe fundație. Când stâlpii depășesc o anumită înălțime, ei sunt prevăzuți, de obicei, cu ancore permanente. Acestea se leagă înainte de ridicare și se întind după ce stâlpul a fost așezat pe fundație.

Ridicarea fără rotire, după metoda a doua, se poate face cu un singur catarg la stâlpii mai ușori, cu baza îngustă și cu două catarge, la stâlpii mai grei. Lega-rea se face ceva mai sus de centrul de greutate al stâlpului, iar cablul de tracțiune, acționat de troliu, se trece peste scripetele fixat în vârful catargului. Pe

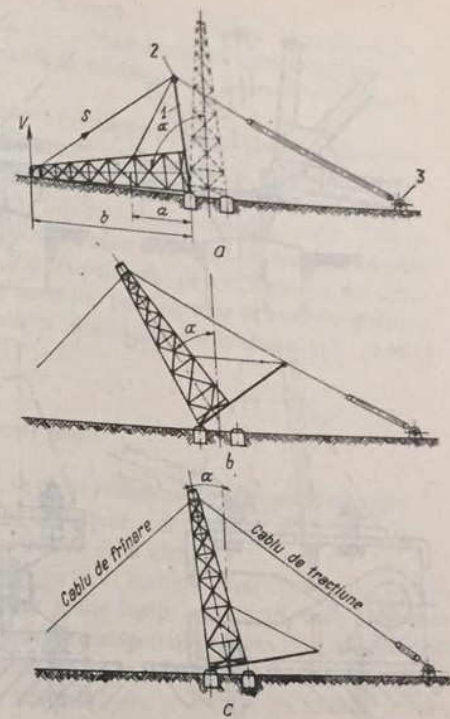


Fig. 14.8. Fazele montării unui stâlp prin rotire: a, b, c, - fazele din timpul montării

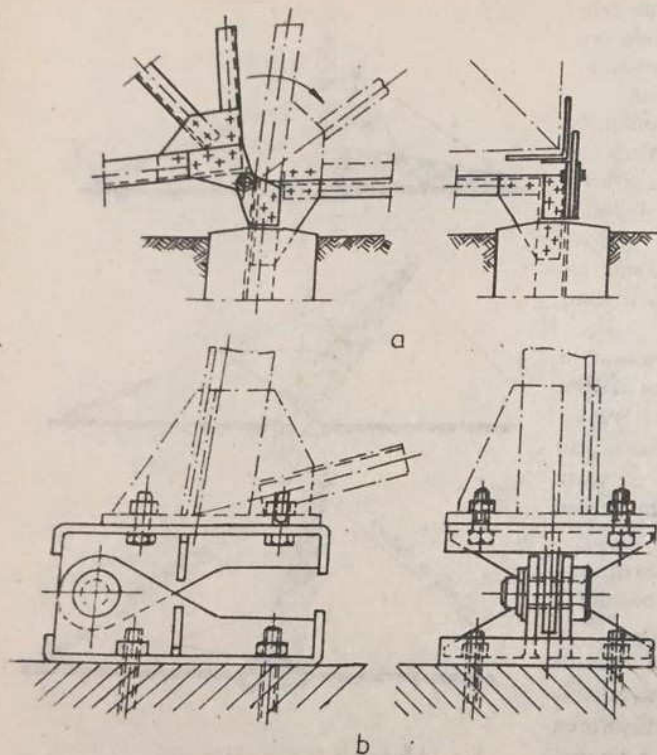


Fig. 14.9. Articuli
pentru ridicarea
stâlpilor;
a, b - tipuri de articule.

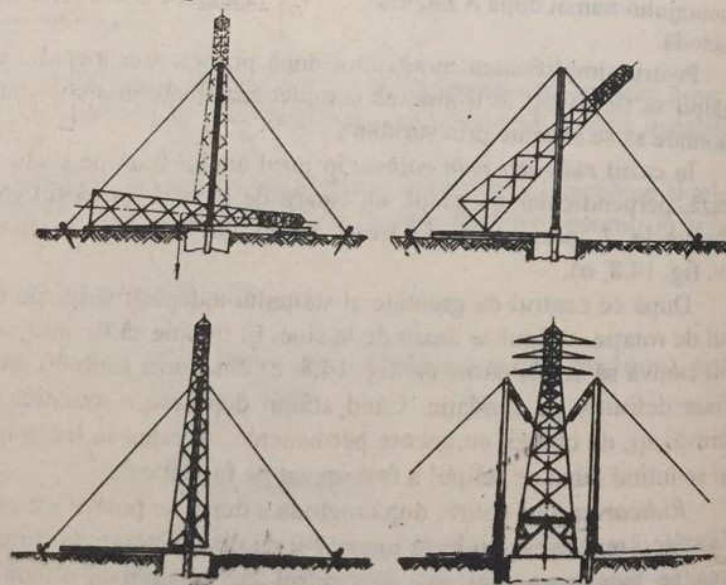


Fig. 14.10. Fazele
montării unui stâlp
cu unul sau două
catarge.

măsură ce stâlpul este ridicat, baza lui alunecă pe sol. Înainte de așezarea pe fundație, stâlpul trebuie ridicat vertical și susținut numai de catarg, care trebuie să fie dimensionat astfel încât să reziste la efortul la care este supus în această ultimă fază a operației de montare.

La stâlpii de mică înălțime, metoda de montare prin ridicarea tronsoanelor unul după altul se folosește numai atunci când condițiile locale nu permit asamblarea pe sol a stâlpului (de exemplu, din lipsă de suprafețe libere).

Metoda montării barelor una câte una este costisitoare, incomodă, și nu se aplică decât în cazuri cu totul excepționale, când, din cauza terenului accidentat, nu se poate executa la sol un montaj al stâlpului nici pe tronsoane, iar din cauza condițiilor de transport stâlpul este livrat din bare separate la locul de montare. În acest caz se construiește o schelă de montaj în jurul fundației și se execută toate îmbinările la înălțime.

14.4.2. Montarea stâlpilor foarte înalți

Montarea stâlpilor foarte înalți se poate realiza prin următoarele metode:

- ridicarea și asamblarea barelor la înălțime, una câte una;
- în tronsoane, începându-se cu tronsonul de vârf;
- ridicarea tronsoanelor și îmbinarea lor la înălțime, unul după altul.

Prima metodă se aplică stâlpilor foarte înalți, neancorați, care din cauza secțiunii mari la bază nu pot fi livrați și transportați pe tronsoane. De altfel, și ridicarea unor tronsoane atât de voluminoase ar fi foarte incomodă.

Barele se ridică cu o macara centrală, care se fixează pe ultimul tronson montat; macaraua este prevăzută cu un dispozitiv de autoridicare.

Metoda montării în tronsoane, începându-se cu tronsonul de vârf se aplică, de asemenea, turnurilor neancorate, cu baza largă. Pe măsură ce tronsonul superior este montat, partea superioară montată a turnului este ridicată cu un dispozitiv special, atât cât este necesar, pentru a se putea introduce dedesubt tronsonul următor.

Metoda ridicării tronsoanelor unul după altul, începându-se cu tronsonul de bază, se aplică pilonilor ancorați, care, din cauza secțiunii transversale reduse, pot fi livrați la șantier în tronsoane asamblate în întregime în întreprindere. La locul de montaj se execută numai ridicarea și îmbinarea acestor tronsoane. Tronsoanele se ridică cu o macara autoridicătoare care este similară cu cea utilizată la prima metodă.

14.4.3. Montarea stâlpilor pentru linii electrice

Stâlpii pentru linii electrice se montează, în mod obișnuit, după unul dintre procedeele descrise mai înainte, pentru montarea stâlpilor de mică înălțime. La montarea liniilor de înaltă tensiune, apar deseori cazuri când metodele de montare obișnuite pentru stâlpii de înălțime mică nu sunt aplicate. Astfel, pe porțiunile de linie care traversează munți înalți, cazuri frecvente în țara noastră,

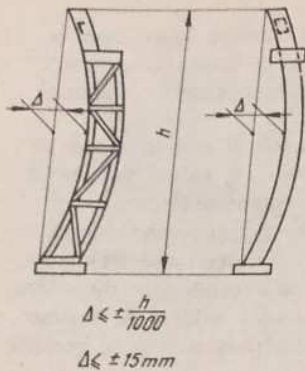


Fig. 14.11. Toleranțele la montajul stâlpului.

14.4.4. Toleranțe la montajul stâlpilor

Pentru a se obține un montaj corespunzător prevederilor desenului precum și menținerea stâlpului, pe tot timpul exploatării, în cotele prevăzute, independent de factorii care pot influența buna funcționalitate a acestuia (vânt, gheață, modificări de sarcini etc.) se impune respectarea unor anumite toleranțe la asamblarea stâlpului.

Astfel, unele toleranțe admise în procesul tehnologic de montaj se referă la realizarea verticalității axului stâlpului, ca:

- *devierea părții superioare a stâlpului față de verticală*, la stâlpi cu înălțimea peste 10 m, care nu poate depăși 25 mm;
- *săgeata curbării stâlpului* care trebuie să fie până la 1/1 000 din înălțimea acestuia fără a depăși 15 mm (fig. 14. 11).

Alte abateri, privind montajul stâlpilor, se referă la înălțimea stâlpului măsurată de la placa de bază până la partea superioară a plăcii de reazem (care, la o înălțime a stâlpului până la 10 m, nu poate fi mai mare de 5 mm), sau la deformații mici și admisibile în secțiunile stâlpului, rezultate în timpul operațiilor de asamblare prin sudare sau nituire.

livrarea stâlpilor asamblați pe tronsoane nu este posibilă, din cauza dificultăților de transport până la locul de montare. De asemenea, asamblarea tronsoanelor la locul de montare nu este întotdeauna aplicabilă, deoarece, din cauza terenului accidentat, ridicarea și montarea tronsoanelor asamblate după unul din procedeele cunoscute nu ar fi posibilă.

În astfel de cazuri, procedeul de montare a stâlpilor pentru rețelele de înaltă tensiune este asamblarea la înălțime a barelor una câte una.

În ultima vreme, montajul se execută cu tronsoane mari, transportate cu elicopterul (exemplu: stâlpii de transport montați pentru Centrala hidroenergetică Lotru).

15.

TEHNOLOGII DE FABRICARE

15.1. DETERMINAREA FORMEI ȘI DIMENSIUNILOR „DEFĂȘURATELOR” SEMIFABRICATELOR

La fabricarea utilajului tehnologic se folosesc piese prin curbarea, ștanțarea, ambutisarea etc. semifabricatelor din tablă și profiluri.

a. „*Defășurata*” unei virole cilindrice drepte (fig. 15.1).

Are forma unui dreptunghi de înălțime H (egală cu înălțimea virolei) și lungimea L , care se obține din relația:

$$L = \pi \cdot D_n = \pi(D_i + s), \quad (15.1)$$

în care D_n reprezintă diametrul la stratul neutru, D_i - diametrul interior al virolei; s - grosimea tablei.

Dimensiunile de trasare ale unei astfel de piese, se determină cu relațiile:

$$H_n = H + 2A_n \quad (15.2)$$

$$L_n = \pi(D_i + s + a) - b + 2A_n + c, \quad (15.3)$$

în care:

a reprezintă abaterea admisibilă de la circularitatea virolei (de regulă $a = 0,01 D_i$);

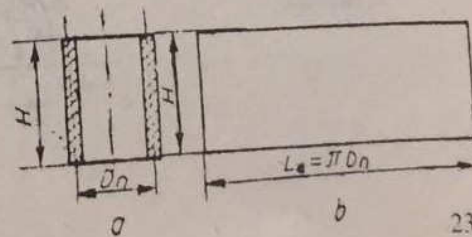
b - mărimea interstițiului (rostului) la sudarea longitudinală (pe generatoare) a virolei după curbare;

A_n - adaosul pentru prelucrarea marginilor tablei în vederea sudării;

c - contracția la sudare.

b. „*Defășuratele*” fundurilor și capacelor sferice cu racordare și elipsoidale executate din rondele circulare. Rondelele sau discurile circulare ce constituie semifabricatele acestor funduri sau capace se pot executa prin decupare

Fig. 15.1. Defășurata unui corp cilindric drept:
a - corp cilindric (virolă); b - defășurata.



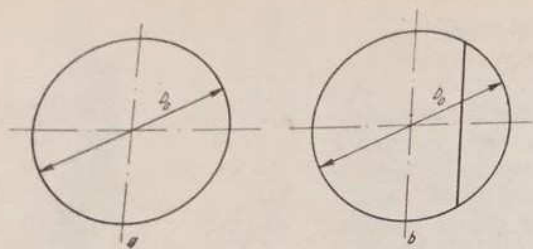


Fig. 15.2. Desfășurata fundurilor și capacelor (rondele):
a - dintr-o bucată, b - din două bucati

dintr-o singură bucată sau din două bucăți sudate între ele după o coastă (fig. 15.2). În ambele cazuri, diametrul \$D_0\$ al unui astfel de semifabricat se poate determina pe baza a două considerente și anume:

- pe baza egalității ariei suprafeței fundului sau capacului cu aria suprafeței semifabricatului („desfășurate”);
- pe baza egalității lungimii curbei (curbelor) care determină profilul fundului sau capacului cu diametrul semifabricatului („desfășurate”).

Pe baza primului considerent, diametrul rundeii \$D_0\$ este:

$$D_0 = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1,13\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (15.4)$$

unde:

- \$A\$ reprezintă aria suprafeței mediane a fundului;
 - \$a_i\$ - aria unui element simplu \$i\$ din componența piesei.
- Aria suprafeței fundului poate fi calculată cu relația:

$$A = 2\pi \int_0^l x \cdot dl, \quad (15.5)$$

în care:

- \$x\$ - reprezintă parametrul curbei generatoare a suprafeței fundului;
- \$dl\$ - lungimea elementară a generatoarei suprafeței fundului.

În cazul fundului sferic cu racordare (fig. 15.3), aria suprafeței va fi suma ariilor celor trei zone: cilindrică (\$A_1\$), toroidală (\$A_2\$) și sferică (\$A_3\$).

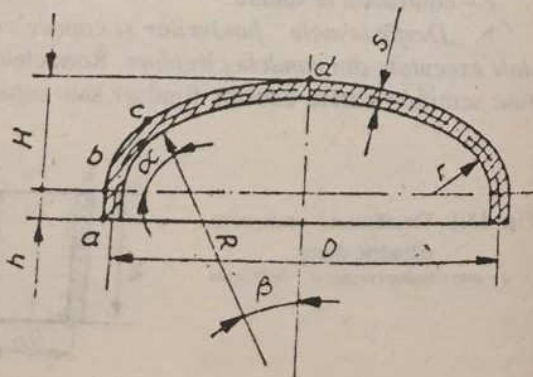


Fig. 15.3. Fund (capac) cu profil sferic de racordare.

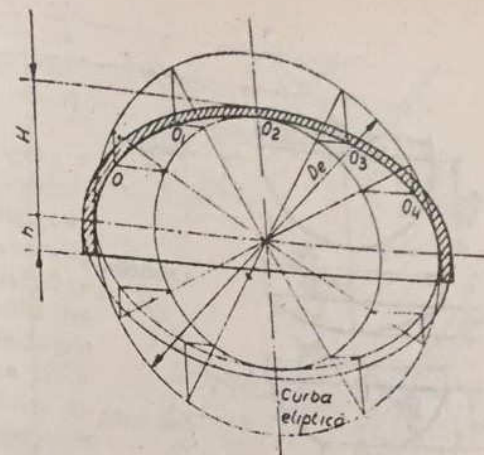


Fig. 15.4. Fund (capac) cu profil elipsoidal.

Aria suprafeței fundului eliptic (fig. 15.4) este dată de relația:

$$A = A_1 + A_2 \quad (15.6)$$

în care:

- \$A_1\$ reprezintă aria suprafeței cilindrice de înălțime \$h\$;
- \$A_2\$ - aria suprafeței sferoidale.

Pe baza celui de al doilea considerent, diametrul rundeii semifabricat pentru fundul sferic cu racordare va fi:

$$D_0 = 2(\overline{ab} + \overline{bc} + \overline{cd}) = \frac{\pi}{90}(r\alpha_0 + r\beta_0) + 2h \quad (15.7)$$

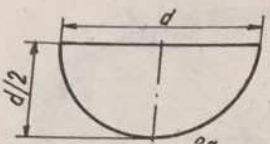
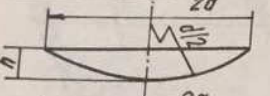
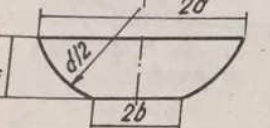
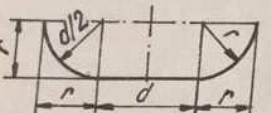
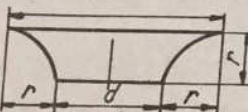
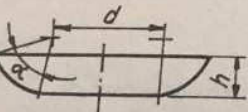
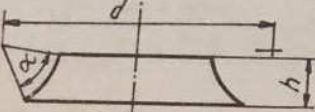
În tabelul 15.1 sunt date relațiile pentru calculul ariilor unor suprafețe geometrice simple.

Tabelul 15.1

Relațiile pentru calculul ariilor unor suprafețe geometrice simple

Forma suprafeței	Relația de calcul a ariei
Con	\$\pi \frac{dl}{2}\$
Trunchi de con	\$\frac{\pi l}{2}(d_2 + d_1)\$

Tabelul 15.1 (continuare)

	Semisferă	$\frac{\pi d^2}{2}$
	Calotă sferică	πdh
	Zonă sferică	πdh
	Sfert de inel sferic convex	$\frac{\pi}{4}(2\pi dr + 8r^2)$
	Sfert de inel sferic concav	$\frac{\pi}{2}(\pi dr + 2 \cdot 2r^2)$ sau $\frac{\pi}{4}(2\pi dr - 8r^2)$
	Fragment de inel sferic convex	$r(dL + 2rh)$ unde $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0,017\alpha r$
	Fragment de inel sferic	$\pi(dL + 2rh)$ unde $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0,017\alpha r$

15.2. FABRICAREA RECIPIENTELOR CU PERETE SUBȚIRE

15.2.1. Tehnologia de fabricare a corpului cilindric

Procesul tehnologic de fabricare a corpului cilindric depinde foarte mult de materialul de construcție al acestuia, de grosimea peretelui și de dimensiunile de gabarit. Corpurile executate din laminate de oțel au cea mai largă utilizare, pentru gabarite de la cele mai mici la cele mai mari și cu grosimi de perete de la 2 ... 60 mm și chiar mai mult.

Cu excepția unor cazuri foarte rare, când se utilizează nituirea pentru îmbinare, recipientele cu perete subțire prevăzute din oțel laminat, se execută prin sudare.

După operația de pregătire a marginilor tablei în vederea sudării urmează curbarea (violarea), care este cel mai răspândit procedeu de formare din tablă a unor corpuri de revoluție cu curbură deschisă sau închisă. Curbarea se realizează prin deformare plastică, la rece sau la cald, în funcție de plasticitatea materialului, de grosimea tablei și de raza de curbare care trebuie obținută, pe mașini cu cilindri rotativi.

În esență procesul de curbare pe astfel de mașini constă în aceea că tabla laminată este îndoită în domeniul elasto-plastic simultan cu deplasarea ei printre cilindrii în rotație. Îndoirea se produce în urma apăsării cilindrilor (cilindrilor) de presare, iar deplasarea tablei printre cilindri, datorită forțelor de frecare ce se produc între aceasta și cilindrii (cilindrul) acționati (fig. 15.5).

La mașinile care funcționează după schema din figura 15.5, a, la care cilindrul central 1 este acționat în mișcare de rotație, forța activă de frecare F_1 antrenează tabla în mișcare de avans. Cilindrul central exercită și apăsarea asupra tablei care, sprijinindu-se pe cilindri laterali 2 și 3, este îndoită.

Mașinile care funcționează după schema din figura 15.5, b au cilindrii laterali 2 și 3 acționați în mișcare de rotație și antrenează prin forțele active F_2 și F_3 tabla în mișcare de avans. Deplasându-se în plan vertical, acești cilindri realizează și îndoirea.

Mașinile de curbat sunt prevăzute cu trei sau patru cilindri. Mașinile cu trei cilindri pot avea cilindrii dispuși simetric sau asimetric. În cadrul fiecărei scheme de dispunere a cilindrilor există mai multe variante din punctul de vedere al mișcărilor comandate pe care le execută cilindrii, precum și din punctul de vedere al realizării schemelor cinematice.

În figura 15.6 sunt reprezentate schemele tip de dispunere a cilindrilor, precum și mișcările de lucru pe care acesta le execută. Fiecare dintre variante prezintă avantaje și dezavantaje. Mașinile constituite după schema cu trei cilindri simetrici (fig. 15.6, a) prezintă avantajul unei scheme cinematice simple și al uniformității solicitărilor, dar au, ca principal dezavantaj, faptul că, la capetele tablei – la intrarea între cilindri și la ieșire – rămân margini necurbate

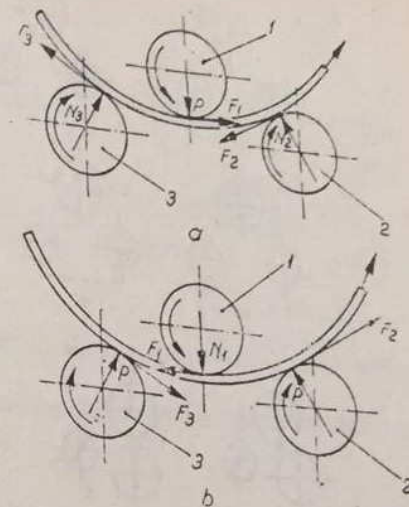


Fig. 15.5. Scheme ale forțelor la curbarea tablelor pe mașini cu trei cilindri.

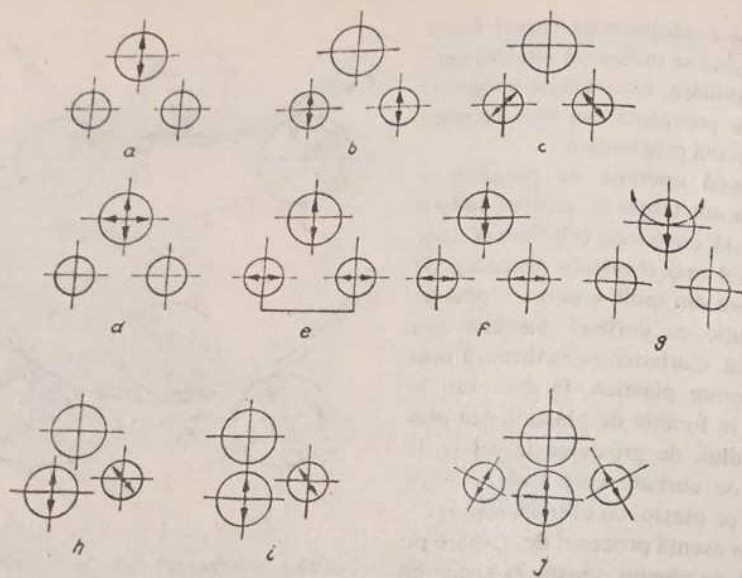


Fig. 15.6. Variante cu posibilități de deplasare ale cilindrilor mașinilor de curbat (scheme):
a - g - cu trei cilindri dispuși simetric; h, i - cu trei cilindri dispuși asimetric; j - cu patru cilindri.

(fig. 15.7). Lățimea marginilor plane depinde de valoarea distanței dintre axe cilindrilor inferiori.

La mașinile cu trei cilindri dispuși asimetric (fig. 15.6, h, i) se poate reduce mult valoarea lățimii proiectelor plane, însă curbarea se realizează la două așezări ale tablei, ceea ce creează unele dificultăți (timp auxiliar mare, manipulări dificile etc.).

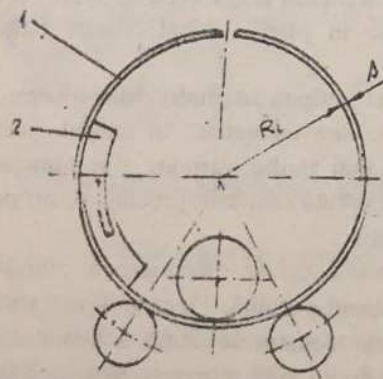


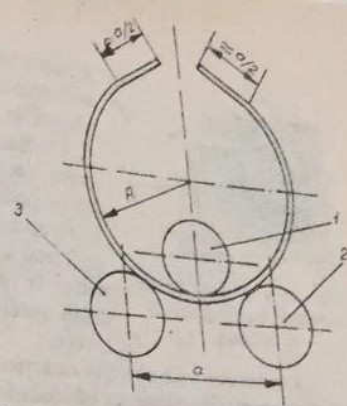
Fig. 15.7. Curbarea tablelor pe mașini cu trei cilindri dispuși simetric.

Mașinile construite după schema cu patru cilindri (fig. 15.6, j) prezintă atât avantajele mașinilor cu trei cilindri dispuși simetric, cât și ale celor cu trei cilindri dispuși asimetric.

Pentru ca virolele încheiate (curbate complet și eventual prinse în puncte de sudură) să poată fi scoase de pe mașina de curbat, cilindrul superior al mașinii este prevăzut cu lagăr rabatabil. Prin înclinarea în plan vertical a axei cilindrilor superior, se pot obține virole tronconice.

Precizia de execuție a razei de curbare se verifică cu șablonul așezat

Fig. 15.8. Verificarea preciziei de circularitate cu șablonul:
1 - virolă; 2 - șablonul



pe partea interioară a virolei (fig. 15.8), sau pe partea exterioră, raza interioară (exterioră) a virolei.

Calibrarea se execută prin deformare la rece, tot pe mașini de curbat cu trei sau patru cilindri.

15.2.2. Tehnologia de fabricare a fundurilor și capacelelor

În funcție de dimensiunile de gabarit și grosimea materialului, fundurile și capacele sferice, sferice cu racordare, elipsoidale se execută prin ambutisare la presă, la rece sau la cald, dintr-o bucată, din două bucăți neegale (v. fig. 15.2) sau din segmente (în număr impar).

Pentru fundurile și capacele executate dintr-o singură bucată, procesul tehnologic este compus de regulă din următoarele operații:

1. verificarea materialului de construcție;
2. îndreptarea tablei;
3. curățarea tablei;
4. trasarea conturului materialului inițial;
5. debitarea;
6. curățarea pe conturul debitat;
7. tratamentul termic;
8. îndreptarea, după tratamentul termic;
9. ambutisarea (la rece sau la cald);
10. tratament termic de detensionare (pentru cele ambutisate la rece);
11. prelucrarea conturului de capăt (tundere, șanfrinare, teșire etc.);
12. controlul tehnic de calitate final.

Primele cinci operații sunt similare celor de la tehnologia de execuție a corpului cilindric, în ceea ce privește problematica de rezolvat și tehnica de execuție, cu unele chestiuni specifice legate de calculul dimensiunii materialului inițial, profilele respective nefiind desfășurabile și unele probleme suplimentare la operația de trasare (eroire) pentru a rezulta deșeuri minime.

Fundurile și capacele cu profil eliptic, sferic și sferic cu racordare dintr-o bucată se obțin prin ambutisarea unui material inițial sub forma unei rondele, de

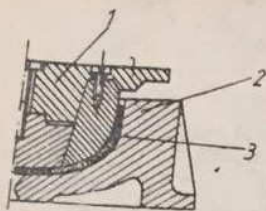


Fig. 15.9. Matrița pentru ambutisat funduri și capace bombate.

grosime inițială egală cu grosimea finală a piesei, la ambutisarea la rece, sau de grosime sporită cu adaosurile necesare pierderilor prin încălzire, la cald. Curățarea conturului de debitare a rondelei se aplică dacă debitarea s-a făcut printr-un procedeu termic (mai puțin cu plasmă) pentru a se crea condițiile necesare operației de ambutisare.

Tratamentul termic anterior ambutisării se aplică numai la oțelul anticoroziv, pentru creșterea plasticității materialului și numai dacă ambutisarea se face la rece.

Ambutisarea este operația caracteristică a tehnologiei de execuție a fundurilor și capacelor bombate, ea efectuându-se la rece sau la cald, în funcție de proprietățile de plasticitate ale materialului, de dimensiuni, grosimea materialului și de forța pe care o poate dezvolta utilajul disponibil pentru ambutisare. Schematic, ambutisarea la rece este similară celei la cald, cu deosebirea că, în ultimul caz, operația trebuie să fie precedată de încălzirea materialului la temperatura de forjare și că nu se mai efectuează tratamentul termic și îndreptarea după tratamentul termic.

Principial, matrița pentru ambutisare (fig. 15.9) se compune din matrița propriu-zisă 2 și din poansonul 1. Matrița este construită monobloc, iar poansonul este asamblat din mai multe părți, pentru a se putea demonta, în cazul blocării piesei 3, pe poanson. Matrița, în partea sa centrală, este prevăzută cu o deschidere pentru extractorul necesar ridicării piesei ambutisate 3 din matriță.

Ambutisarea la rece se poate face dintr-o singură operație (fază) sau din mai multe, aplicate succesiv. Fundurile și capacele de dimensiuni mari se execută în două operații (ambutisare și bordurare – realizarea porțiunii de racordare între partea cilindrică și partea bombată a fundului sau capacului).

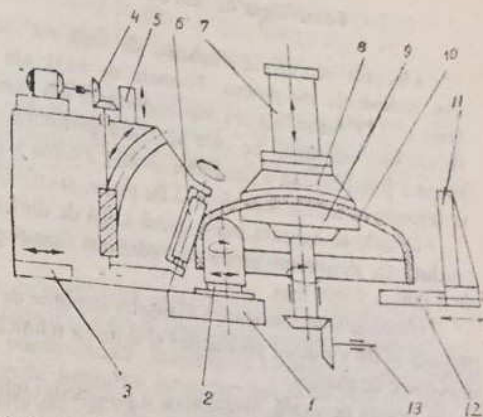
Ambutisarea se realizează, de regulă, pe prese hidraulice, de mărime și forță corespunzătoare piesei și parametrilor tehnologici stabiliți (dimensiuni de gabarit, grosimea materialului, forma geometrică a fundului sau capului etc.).

Fundurile și capacele bombate de dimensiuni mari, necesitând matrițe de dimensiuni corespunzătoare și deci scumpe și cu deosebire la producția individuală și de serie mică, nu se mai obțin prin ambutisare, metoda devenind neeconomică. Pentru aceasta s-au pus la punct metode și utilaje speciale destinate acestui scop. Astfel, la presele rotative (fig. 15.10), tabla semifabricat se încălzește uniform într-un cuptor special, se așează pe poansonul 9 și se centrează.

Zona centrală a fundului sau capacului se formează cu ajutorul matriței 8 și a poansonului 9, iar bordurarea, cu ajutorul rolei profilate 2 și a rolei de presare 6. Rola de presare, liberă în lagăre, primește o mișcare de coborâre după o traiectorie paralelă cu profilul rolei 2 și deformând semifabricatul, realizează bordura. Modul în care se realizează mișcările de lucru rezultă din figură.

Executarea fundurilor și capacelor de dimensiuni mari, în două operații, constă în ambutisarea porțiunii bombate prin matrițare pe prese, la cald sau la rece, urmată de bordurarea marginilor pe mașini speciale pe bordurat, prin rulare cu ajutorul rolor.

Fig. 15.10. Schema executării fundurilor de presă rotativă: 1 – suport, 2 – rolă profilată, 3 – glisieră orizontală, 4 – angrenaj conic, 5 – glisieră verticală, 6 – rolă de presare, 7 – cilindru hidraulic, 8 – matrița, 9 – poanson, 10 – semifabricat, 11 – stâlp de centrare, 12 – glisieră, 13 – angrenaj conic.



Tratamentul termic se aplică numai la fundurile și capacele ambutisate și formate la rece, dacă nu sunt supuse unui tratament ulterior, după operația de sudare pe corp sau a flanșei pe acesta.

Prelucrarea conturului de capăt se face pentru obținerea geometriei prevăzute la rostul de sudare, precum și atunci când grosimea materialului fundului (capacului) bombat este mai mare decât grosimea virolei de fund (de cap), fiind necesară trecerea lină de la grosimea mai mare la grosimea mai mică. Prelucrarea marginilor, pentru care se prevede adaos corespunzător, se poate face pe strung carusel sau strung frontal și, uneori oxiacetilenic, pe mese rotative, prelucrarea efectuându-se pe suprafețele 1, 2 și 3 (fig. 15.11).

Controlul tehnic de calitate privește precizia dimensională, de formă și de calitate a prelucrărilor pe conturul marginal, verificarea făcându-se cu șabloane de profil corespunzător și cu instrumente de măsură și control universale.

Pentru fundurile și capacele executate din segmente, tehnologia de execuție este similară celor executate dintr-o singură bucată, cu deosebirea că în tehnologia primelor se cuprinde ambutisarea (curbarea) segmentelor, în locul ambutisării piesei întregi, urmată de operația de prelucrare a marginilor pentru asamblarea prin sudare a segmentelor între ele și a inelului central și operația de sudare.

În ultimul timp au început să fie aplicate unele tehnologii noi, cum ar fi ambutisarea hidromecanică, ambutisarea prin explozie etc.

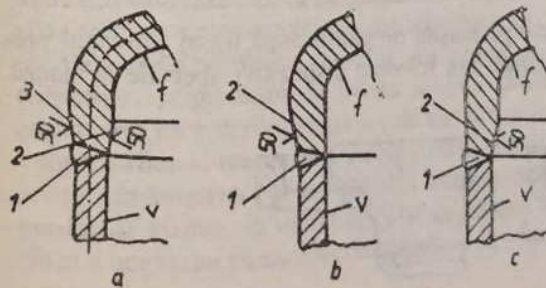


Fig. 15.11. Suprafețele ce necesită prelucrare pe conturul de capăt al fundului (capacului): a – prelucrare pe ambele fețe, b – prelucrare pe exterior, c – prelucrare pe interior, 1, 2, 3 – suprafețe de prelucrat, f – virolă, v – fund (capac).

15.2.3. Tehnologia de fabricare a flanșelor

Flanșele reprezintă elemente de legătură ale recipientelor și conductelor din industriile de proces. Formele de bază ale flanșelor sunt plate sau cu gât (fig. 15.12). Suprafața cea mai importantă din punct de vedere funcțional a unei flanșe este suprafața pe care se așază garnitura inelară de etanșare (suprafața plană a pragului sau a canalului inelar). Pentru asigurarea unei bune etanșeități, se impune ca aceste suprafețe să fie plane, și cu rugozitate mică.

Flanșele se execută într-o gamă largă de dimensiuni, de la flanșe pentru racorduri cu diametrul de 10 mm până la flanșe pentru recipiente cu diametrul de 3 000 ... 4 000 mm.

Tehnologia de fabricare a flanșelor depinde de tipul și dimensiunile acestora, precum și de volumul producției și dotarea tehnică a societății comerciale constructoare de mașini.

Structura generală, orientativă, a procesului tehnologic de fabricare a flanșelor se constituie din următoarele etape:

1. Obținerea semifabricatului;
2. Prelucrarea mecanică (prin așchiere);
3. Trasarea poziției centrelor găurilor de trecere a șuruburilor de strângere;
4. Executarea găurilor de trecere a șuruburilor de strângere;
5. Asamblarea flanșei prin sudare cu virola de capăt, cu fundul, capacul, racordul etc.;
6. Tratament termic de detensionare;
7. Prelucrarea mecanică finală pe suprafața de etanșare (prag, canal, pană).

Se precizează că nu toate etapele indicate în succesiunea de mai sus, sunt necesare în toate cazurile de fabricare a unei flanșe. Astfel, pentru flanșele de dimensiuni mici și în special cele destinate racordurilor, prelucrarea definitivă a suprafeței de etanșare se face înaintea asamblării prin sudare. De asemenea, pentru producția de serie, operația de trasare se elimină, găurirea efectuându-se pe dispozitive.

Obținerea semifabricatului. Procedul de obținere a semifabricatului necesar execuției unei flanșe depinde de forma acesteia (plată sau cu gât); de dimensiunile de gabarit și de tipul producției. Se folosesc semifabricate: laminate, forjate, turnate etc.

Prelucrarea mecanică prin așchiere. Prelucrările mecanice ce urmează a se efectua pe semifabricat, pentru obținerea flanșelor, se execută pe mașini-unelte din grupa strungurilor.

Executarea găurilor se face pe mașini de găurit după trasaj (în cazul producției de unicat sau de serie mică) sau folosind dispozitive speciale de găurit.

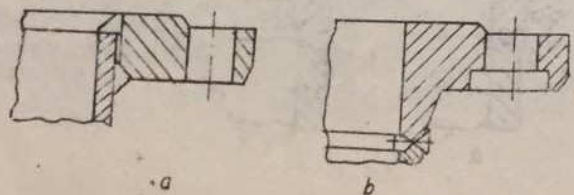


Fig. 15.12.

În cazul găuririi după trasaj, pentru asigurarea corespondenței necesare între găurile a două flanșe pereche, se recomandă găurirea simultană a acestora.

Suprafața de etanșare se prelucurează după ce flanșa a fost sudată la racord sau pe corpul recipientului.

Asamblarea flanșei cu racordul sau cu corpul recipientului se face prin prinderea provizorie în puncte de sudură, verificarea poziției și sudarea propriu-zisă.

Prin prelucrarea mecanică după sudare se elimină abaterile de poziție produse de deformațiile după sudare.

15.2.4. Asamblarea și probarea recipientelor sub presiune

Asamblarea recipientelor se realizează complet în uzina constructoare, în cazul *utilajelor gabaritice* și numai parțial, pe tronsoane, în cazul *utilajelor agabaritice*. De regulă, în uzina constructoare, asamblarea elementelor importante, racorduri, sistemul de rezemare etc., se face în poziție cu axa orizontală. Utilajele destinate a funcționa în poziție verticală, se ridică în această poziție, către partea finală a procesului tehnologic de asamblare, după montarea sistemului de rezemare.

După realizarea întregului recipient, acesta se supune tratamentului termic, stabilit în funcție de materialul de execuție, de modul de obținere a diferitelor elemente componente și de tratamentele termice aplicate acestor elemente, separat, anterior asamblării.

Recipientele sub presiune, după asamblare și tratament termic se supun probei de încercare la presiune hidrolică și la încercarea pneumatică de etanșitate, efectuate potrivit instrucțiunilor I.S.C.I.R.

15.3. FABRICAREA APARATELOR DE TIP COLOANĂ

Coloanele – utilaje montate cu axa geometrică în poziție verticală – se caracterizează prin valori mari ale raportului L/D . Având lungimea efectivă mare și diametrul mic, aparatele de tip coloană ridică probleme deosebite de execuție, de asamblare și montare: la aceste aparate, precizia de execuție și de montare condiționează în mod esențial debitul și calitatea separării.

Coloanele negabaritice se execută în întreprinderea constructoare pe subsambluri gabaritice. Aceste subsambluri se assemblează provizoriu în grupuri agabaritice, se controlează din punct de vedere al preciziei și se marchează. Marcajul ușurează munca pe șantierul de montare și asigură asamblarea corectă și de precizie a elementelor și subsamblurilor.

Fabricarea virolilor corpului coloanelor nu se deosebește de fabricarea corpurilor recipientelor cu perete subțire. După realizarea corpului, urmează asamblarea racordurilor și gurilor de vizitare, a amenajărilor interioare și în final suporturilor de reazem. La asamblarea virolilor se va urmări asigurarea rectilinității generatoarelor și coaxialității tronsoanelor. La asamblarea racordurilor și gurilor de vizitare se va urmări atât asigurarea unghiului de poziție a acestora, cât și a unghiului pe care racordul trebuie să-l facă cu axa coloanei.

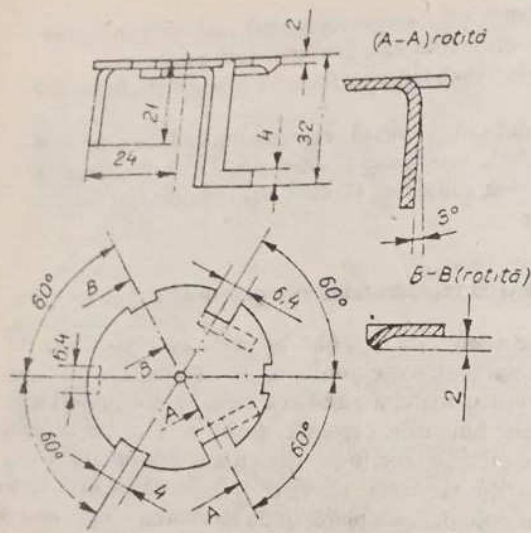


Fig. 15.13. Construcția supapelor

Fabricarea elementelor de amenajare interioară

Talere cu supape. Asamblarea talerelor la coloana așezată orizontal se face începând cu talerul din față, în raport cu care se poziționează toate celelalte talere. Ramele suport se prind în puncte de sudură una câte una și se verifică perpendicularitatea lor la axa coloanei. După asamblarea provizorie a tuturor ramelor suport și verificarea lor, urmează sudarea acestora, a pereților deversori și a celorlalte elemente de fixare la corpul coloanei.

Supapele (fig. 15.13) se realizează prin ștanțare din tablă cu grosimea de 1...3 mm. Printr-o judicioasă aranjare a supapelor la croire (fig. 15.14), se asigură un grad înalt de utilizare a materialului.

Semifabricatul astfel obținut este supus operației de îndoire a piciorușelor și a lamelor. Această operație se execută pe o matrită specială. Asamblarea supapelor la taler se face pe un stand special.

După realizarea talerului se execută o asamblare provizorie în întreprinderea constructoare. Cu această ocazie se verifică precizia de execuție și asamblare a elementelor componente, se fac ajustările necesare și se execută marcarea acestor elemente în scopul reproducerii cu ușurință a poziției lor la montarea finală.

Talere cu clopote. Fabricarea talerelor cu clopote, indiferent de varianta constructivă adoptată (v. cap. Aparate tip coloană), constă în executarea fiecărui element component și asamblarea corespunzătoare a acestora.

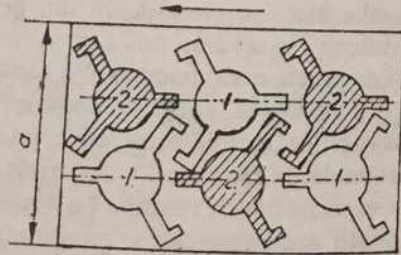


Fig. 15.14. Schema de croire a tablei pentru decuparea supapelor.

Fabricarea talerului și asamblarea acestuia se face ca și în cazul talerelor cu supape.

Capacele se realizează prin ștanțarea găurii centrale și a fantelor, după care se ambutisează la forma de clopot.

Racordurile se execută fără dificultăți, din țeava de diametru și lungime corespunzătoare și se assemblează prin mandrinare, sudare sau lipire.

După executarea talerelor cu clopote, se face montarea provizorie a acestora în întreprinderea constructoare, de regulă, pe o virolă special construită. După verificare, ajustare și marcarea, se supun probei de etanșitate, prin umplere cu apă până la nivelul deversorului. După un interval de timp de 20 min., nivelul apei nu trebuie să scadă cu mai mult de 25 mm. Nu se admite ca scurgerea apei să se producă printr-un singur loc pe taler.

Talerele în formă de S se execută din tablă de oțel prin ștanțare și îndoire la rece.

Talerele sită se execută, de asemenea, din tablă de oțel prin ștanțare.

Problemele asamblării și montării tablelor în formă de S, precum și a talerelor sită, sunt similare celor prezentate la talerele cu supape și cu clopote.

Grătare și suporturi pentru umplutură. Au, de regulă, aceleași prevederi ale preciziei de formă și de poziție ca și talerele. Tehnologia de execuție a lor depinde de materialul de construcție și de tipul suportului. Se va urmări realizarea, la montare, a preciziei de planitate și de orizontalitate.

Elementele prevăzute cu orificii circulare sau cu fante, se obțin prin perforare (ștanțare), urmată eventual de curbare (îndoire).

15.4. FABRICAREA CORPULUI RECIPIENTELOR CU PERETE GROS

Dezvoltarea tehnicii presiunilor înalte, caracteristice unor tehnologii chimice și petrochimice de mare importanță (sinteza amoniacului, polimerizarea etilenei la polietilenă etc.) a impus utilizarea pe scară din ce în ce mai largă a recipientelor cu perete gros: reactoare, autoclave etc. Problema executării recipientelor cu perete gros este pusă și de construcția centralelor termo-nucleare. Recipientele cu perete gros pot atinge lungimi de până la 20 m și grosimi ale peretelui de 350 mm.

Date fiind condițiile de coroziune – specifice tehnologiilor la presiuni înalte – se impune, de multe ori, pentru construcția acestor aparate, folosirea unor materiale metalice neferoase scumpe și deficitare.

Printre procedeele uzuale, utilizate la fabricarea recipientelor cu perete gros, se numără: turnarea, tragerea pe dorn, forjarea și sudarea, înfășurarea din tablă (procedeu Smith), înfășurarea din bandă profilată (procedeu Schierenbeck), prin încărcare cu sudură elicoidală (procedeu Muscan – procedeu românesc) etc. Deoarece corpul reprezintă piesa de bază a unui astfel de recipient, în cele ce urmează se vor prezenta, cu precădere, tehnologii pentru fabricarea acestuia.

15.4.1. Fabricarea corpului recipientelor cu perete gros prin înfășurare din tablă

Procedeul face parte din categoria procedeelor de fabricare a corpului recipientelor cu perete gros multistrat și cuprinde următoarele etape:

Din tablă cu grosimea de 12 mm se execută, prin curbare, un tub cilindric. Se prelucrează exteriorul tubului pentru a-i asigura precizia necesară, precum și o îmbunătățire a calității suprafeței, după care, se rigidizează cu ajutorul unor inele introduse în interiorul acestuia. Pe tubul astfel pregătit se aplică succesiv mai multe virole, formate din două semivirole. Semivirolele executate din tablă de 5 ... 6 mm grosime, se aplică prin pretensionare. Pretensionarea se realizează cu ajutorul unor dispozitive hidraulice, prin intermediul bandajelor. Semivirolele tensionate se prind în puncte de sudură, după care se eliberează bandajele de tensionare și se sudează definitiv. Următoarele straturi se formează după aceeași tehnologie, urmărind decalarea semivirolelor cu cel puțin 90°, astfel încât cordoanele de sudură ale diferitelor straturi să nu se afle în același plan axial.

Din același motiv semivirolele nu sunt egale între ele (una va fi de 170°, iar cealaltă de 190°). Prin sudarea longitudinală se realizează tensionarea virolelor. Numărul virolelor depuse în straturi depinde de grosimea pe care trebuie să o aibă peretele recipientului.

Recipientele cu lungime mare se obțin prin sudarea cap la cap a mai multor virole, astfel obținute. La fel se realizează sudarea celor două capace.

Procedeul de executare a corpului recipientului cu perete gros prin mai multe virole suprapuse este simplu și nu necesită utilaj special și complicat.

15.4.2. Fabricarea corpului recipientelor cu perete gros prin încărcarea cu sudură elicoidală

Procedeul constă, în principiu, în îngroșarea peretelui unui tub cilindric, prin depunerea succesivă a mai multor cordoane de sudură.

Tubul se execută printr-unul din procedeele cunoscute din tablă de 20 mm grosime, după care se strunjește la exterior pentru uniformizarea și curățirea suprafeței. Interiorul tubului se umple cu pământ de turnătorie, după care se închide la capete cu capac din tablă. Umplerea cu pământ de turnătorie se face pentru a evita deformarea tubului în timpul depunerii primelor straturi de sudură. Astfel pregătit, tubul se prinde cu un capăt în platoul sau universalul unui strung, iar cu celălalt capăt, într-un dispozitiv special care îi permite deplasarea axială datorită dilatării sub influența temperaturii dezvoltate în timpul procesului de sudare. Aparatul de sudare se prinde pe căruciorul strungului cu ajutorul căruia execută mișcare longitudinală de avans, în timp ce tubul se rotește. Valoarea avansului se alege în funcție de pasul necesar cordonului de sudură ținând seama de lățimea acestuia. Depunerea cordoanelor de sudură se face sub strat de flux. Pentru a evita apariția incluziunilor între straturi, cordoanele de

sudură trebuie să fie curățate de zgura rezultată prin topirea fluxului. După depunerea primului strat de sudură, pământul din interiorul tubului este golit. În continuare se depune numărul necesar de straturi de sudură, până la obținerea grosimii necesare, după care corpul astfel format este supus unui tratament termic de detensionare și pentru a-l face ușor prelucrabil prin așchiere. Obținerea formei și dimensiunilor finale se face prin prelucrări mecanice obișnuite.

Corpurile recipientelor astfel obținute au rezistența peretelui sporită, datorită efectului de fretaj obținut prin contracția cordoanelor de sudură în timpul răcirii. Răcirea cordoanelor de sudură se face dirijat, în apă în interiorul virolei și cu aer la exterior.

Notă: Normele de tehnica securității muncii sunt specifice fiecărei tip de prelucrare (operație).

16.

TEHNOLOGII DE ASAMBLARE A REZERVOARELOR

16.1. TEHNOLOGIA DE ASAMBLARE A REZERVOARELOR CILINDRICE

La asamblarea rezervorului vertical de depozitare (fig. 16.1) procesul tehnologic este următorul: executat piese componente și subansambluri, asamblat corpul tubular 1 cu fundul inferior eliptic 2 și capacul 3, asamblat suportul de fund 4, la rezervor, control Rx, remedieri după Rx, montat racordurile $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ și gura de vizitare R- la rezervor și racordurile R_7, R_8, R_9 la suport, ajustaj general, probă hidraulică, recepționat, vopsit, ambalat, expedit.

Pentru vasul decantor (fig. 16.2) procesul tehnologic de asamblare este următorul: executat piese componente și subansambluri, tratament termic funduri, asamblat complet corpul tubular 1 cu fundurile 2 și 3, asamblat suporturile 4 la vas, asamblat racordurile I ... IX, gura de vizitare X și mufa XI, asamblat scara 6 la rezervor, asamblat serpentina 5 la rezervor conform indicațiilor din desen, ajustaj general, proba hidraulică în rezervor, recepționat, vopsit, ambalat, expedit.

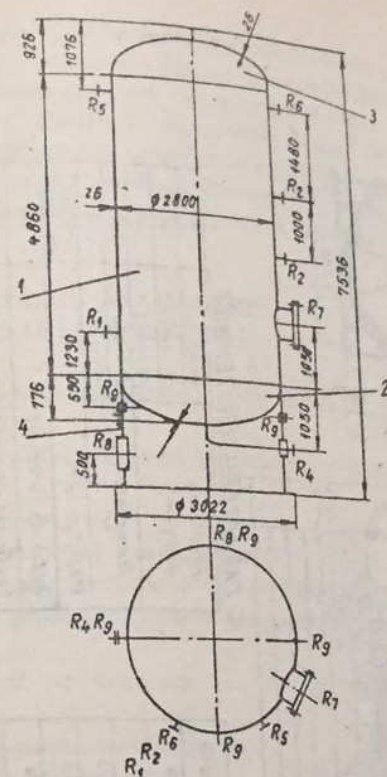
Proba hidraulică a serpentinei exterioare 5 s-a efectuat separat, înainte de a fi montată la rezervor.

Cusăturile sudate longitudinal trebuie să fie situate în afara limitelor de 140° ale părții inferioare a corpului, dacă această parte este greu accesibilă pentru examinarea sudurii. Cusăturile sudate transversal (inelar) trebuie amplasate în afara reazemelor vasului. În cazul sudurii altor piese pe suprafața exterioră a corpului, distanța dintre marginea cusăturii sudate a corpului și marginea cusăturii pieselor sudate trebuie să fie cel puțin egală cu grosimea peretelui vasului. Asamblarea diferitelor virole pentru sudarea corpului și asamblarea fundului cu corpul trebuie să se execute dându-se o îngrijire deosebită.

După asamblare și sudare, vasele trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- la cusăturile sudate transversal, denivelarea comună a marginilor trebuie să nu depășească 10% din grosimea peretelui, plus 3 mm, însă nu mai mult de 5 mm;

- se admite curbarea piesei de cel mult 2 mm pe lungimea de 1 m liniar, iar pe întreaga lungime a corpului de cel mult 20 mm la piese cu lungime mai mică de 10 mm și de 30 mm la piese cu lungime mai mare de 10 m.



CARACTERISTICI TEHNICE

Capacitatea reală	36 320	
Suprafața de transtercaloric reală	—	
Presiune	Defuncționare daN/cm ²	17
	De probă hidraulică daN/cm ²	25,5
	De probă pneumatică daN/cm ²	—
Temperatura	C° ambiantă	
Numar de treceri	—	
Înălțimea secțiunii de trecere	—	
Adâncimea de coroziune	mm	0,3
Sudura	Cu completare la rădăcină	da
	Coefficient de calitate	0,85
	Control cu raze X° %	15
	Categoria de calitate cont. C 20-59	III
Masă maximă în funcțiune	—	
Mediul de lucru	Gaz inert	
Categoria recipientului	IV	
Greutatea aparatului	14 450 Kg	

TABELA RACORDURILOR

Poz	Utilizare	Buc	Dn	Pn
R ₁	Intrare gaze	1	25	50
R ₂	Iesire gaze	2	25	50
R ₃	Supapă siguranță	1	25	25
R ₄	Iesire apă	1	25	40
R ₅	Manometru de alamă	1	40	20
R ₆	Manometru	1	40	20
R ₇	Gură de vizitare	1	25	500
R ₈	Ștut de intrare	1	—	500
R ₉	Ventilație	4	—	80
R ₁₀	Ștut pentru R ₄	1	—	150

Fig. 16.1. Rezervor vertical de depozitare.

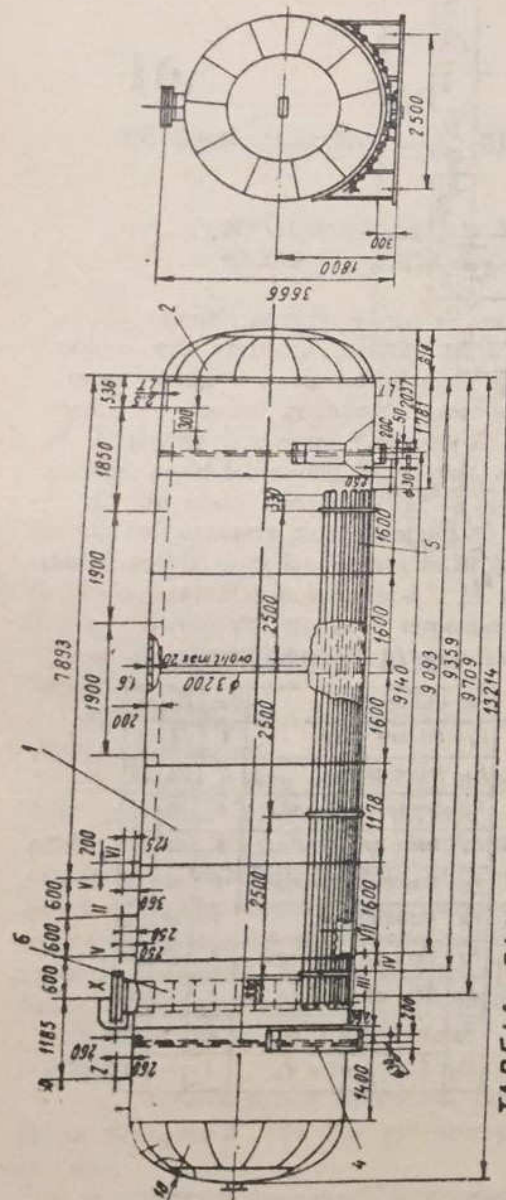


TABELA RACORDURILOR

Nr. poză	Denumire	Dn	Ph	Buc	Felul elanșării	Observații
I	Intrare gaze	350	25	I	netedă	Su contra flanșă
II	Ieșire gaze	250	25	I	netedă	Su contra flanșă
III	Ieșire produse lichide	150	25	I	netedă	Su contra flanșă
IV	Scurgere	50	25	I	netedă	Su contra flanșă
V	Aerisire	50	25	I	netedă	Su contra flanșă
VI	Aburire	40	25	I	netedă	Su contra flanșă
VII	Indicator de nivel	50	40	I	netedă	Su contra flanșă
VIII	Intrare abur	25	25	I	netedă	Su contra flanșă
IX	Ieșire condensat	25	25	I	netedă	Su contra flanșă
X	Gură de vizitare	450	16	I	netedă	Su contra flanșă
XI	Mufă pt. manometru	kg	12	I	netedă	-

CARACTERISTICI TEHNICE

Presiunea de lucru	3
de calcul	4
de probă	6
Temperatură de lucru	200
de calcul	200
Mediul de lucru	tețerșau distilate
Adăus de corozivne	0,3
Coefficient de calitate a sud ψ	0,85
Tratament termic	fundurile
Izolatie termică mm gros	100
Masa aparatului gol - Kg	22 200
Capacitatea - L	100 000
Masa aparatului în condiții de probă Kg	122 000

Fig. 16.2. Vas decantor.

După asamblarea corpului cu fundurile se execută trasarea racordurilor și a sferelor de vizitare conform cotelor din desenul de execuție. Rezervoarele cilindrice orizontale se utilizează și pentru depozitarea butanului, propanului și a fracțiunilor de benzină în rafinării, iar în industria chimică ca vase tampon în procesul tehnologic sau depozitarea soluțiilor cu acid sulfuric și hidrați de sodiu utilizate la neutralizarea apelor reziduale. Rezervoarele pentru propan se izolează cu manta falsă (parasolar) care le protejează de razele solare.

16.2. TEHNOLOGIA DE ASAMBLARE A REZERVOARELOR SFERICE

Rezervoarele sferice sunt construcții complet sudate, alcătuite din trei părți principale:

- mantaua sferică, formată dintr-un inel inferior, o zonă ecuatorială și un inel superior;
- suporturile de susținere;
- platformele de deservire cu scările de acces.

Rezervoarele sferice au o grosime mică a pereților în raport cu diametrul și servesc la depozitarea produselor lichide sau gazoase sub presiune (propan, butan etc.).

Rezervoarele sferice se montează pe fundație de beton în aer liber (fig. 16.3).

În prezent în țara noastră s-au asimilat rezervoare sferice de 1 000 mc, fiind în fabricație curentă. Fabricația rezervoarelor sferice impune utilaje, dispozitive, tehnologii de fabricație și control special, precum și condiții deosebite la montajul pe șantier. Rezultă necesitatea unui personal cu calificare specială în condiții de șantier.

Proces tehnologic de asamblare. Sfera rezervorului se poate monta tola cu tola prin mai multe metode, dintre care cele mai utilizate sunt următoarele două:

a) Metoda asamblării complete a unei sfere numai cu ajutorul diverselor modele de agrafe și sudarea ulterioară manuală. Tolele sunt fixate între ele cu ajutorul diverselor modele de agrafe, obținându-se un ansamblu stabil și ajustabil după necesitate. Înainte de a se începe montarea rezervorului se execută la sol

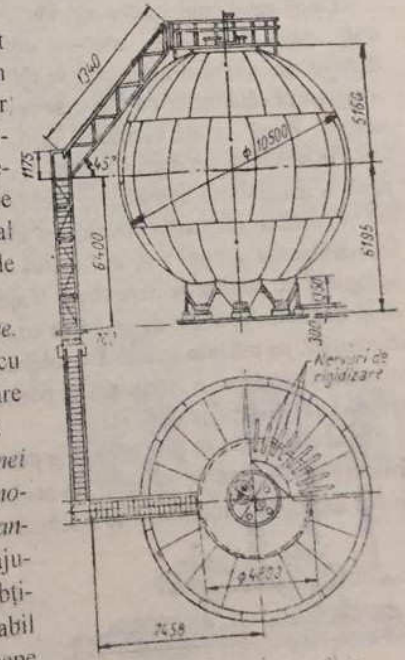


Fig. 16.3. Rezervor sferic

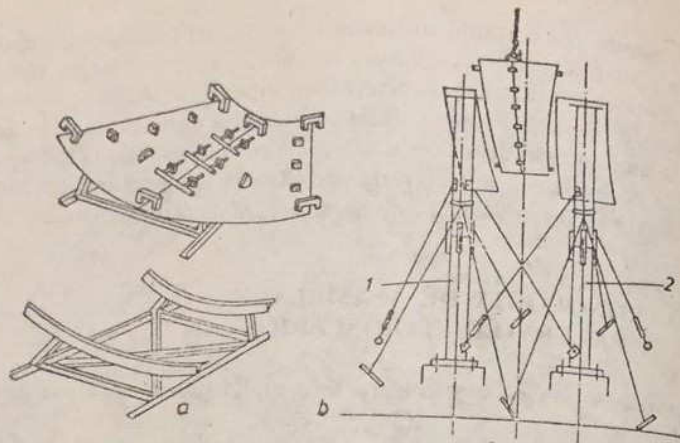


Fig. 16.4. Montarea stâlpilor și a tolelor inelului ecuatorial.

operațiile de asamblare a tolelor două câte două (fig. 16.4, a); tolele au fost ambutisate în prealabil la raza sferei, Picioarele recipientului se assemblează, de asemenea, la sol, în cazul când sosesc pe șantier din două bucăți și au virola meridională neasamblată. În figura 16.4, b, este reprezentată montarea stâlpilor și a tolelor inelului ecuatorial.

După ce primul stâlp s-a prins în buloane și s-a centrat, se ridică al doilea stâlp, după ce se leagă ancorele definitive la baza stâlpilor 1 și 2, fără a se strânge. Cu ajutorul macaralei se ridică cele două tole ecuatoriale asamblate și cu ajutorul călăreților de fixare se prind de stâlpul din dreapta și din stânga prin sudură, după ce s-a verificat, însă, concordanța înălțimii tolelor și distanța între marcajele executate în uzină. Se procedează astfel din aproape în aproape până la asamblarea completă a inelului ecuatorial. Inelul ecuatorial fiind verificat și corectat (execuția montajului ulterior depinzând de acesta) se procedează la asamblarea primei tole din inelul inferior. Tola se așează în poziția cea mai apropiată de poziția sa definitivă cu ajutorul cablurilor de ancorare legate de un stâlp central. Agrafele de prindere se fixează la fel ca și la asamblarea inelului ecuatorial, pe măsura asamblării tolelor, cu deosebire că la asamblarea emisferei inferioare, acestea se montează pe partea exterioară. Inelul inferior se închide cu șuruburi de distanțare (fig. 16.5).

În același mod se procedează și pentru emisfera superioară unde agrafele de prindere se fixează pe exterior, în aceleași condiții ca la emisfera inferioară, în timpul asamblării folosindu-se o schelă exterioară de deservire.

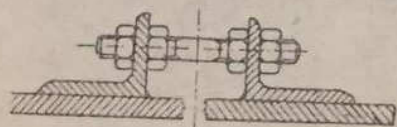


Fig. 16.5. Șurub de distanțare.

b) *Metoda asamblării mixte cu folosirea agrafelor și a sudării manuale.* Această metodă constă în alternarea operațiilor de rigidizare a elementelor prin dispozitive pentru fixarea cu sudare defi-

nitivă și se aplică în special rezervoarelor sprijinite pe suporturi fixate pe zona inferioară.

După verificarea fundației recipientului, se fixează și se centrează suporturile, după care calota inferioară se fixează și se sudează pe suporturi. Pe calotă, în centrul rezervorului, se fixează un catarg care sudează la asamblare și centras. Catargul este executat din țevă cu diametrul de 200 mm și are fixat un compas de lungime reglabilă. Fixarea tolelor dintre ele se execută cu ajutorul agrafelor și a dispozitivelor pentru fixare. În acest fel se execută complet asamblarea zonei inferioare, păstrându-se între segmentii spații de 3-4 mm prin plăcuțe de distanțare. Zona ecuatorială și a emisferei superioare se controlează cu ajutorul unui șablon metalic rotativ, fixat pe catarg.

Calota sferică superioară se montează numai după sudarea completă a emisferei inferioare și a zonei ecuatoriale a rezervorului și efectuarea controlului îmbinărilor sudate. Înaintea începerii montării emisferei superioare, se sudează complet emisfera inferioară și se fac verificarea și centrarea zonei ecuatoriale. Zona ecuatorială se sudează numai după asamblarea emisferei superioare. În figura 16.6 este reprezentată începerea montării inelului ecuatorial prin metoda mixtă. Racordurile și gurile de vizitare se montează la sol pe tolele respective, conform desenelor de execuție. Caracteristica principală a tehnologiei sudării constă în urmărirea cu strictețe a succesiunii operațiilor.

Rezervorul sferic (fig. 16.7) se montează la înălțime, fiind susținut de un număr de picioare, ancorate între ele prin tiranți. Montarea se execută cu ajutorul a patru stâlpi, în patru faze (v. fig. 16.7).

- ridicarea emisferei superioare 1;
- ridicarea emisferei inferioare 2;
- ridicarea picioarelor 3 și asamblarea ancorelor 4;
- montarea scării cu balustradă 5 și a podestului 6.

În ce privește stabilirea rezervoarelor sferice trebuie arătat că acest lucru este realizat cu ajutorul ancorelor 4, a căror lungime este reglabilă. Prin acest sistem de ancore se asigură o bună stabilitate și în cazul eventualelor seisme.

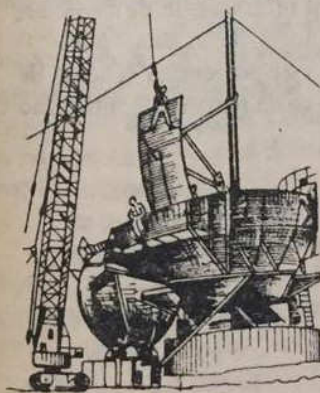


Fig. 16.6. Începerea montării inelului ecuatorial prin metoda mixtă.

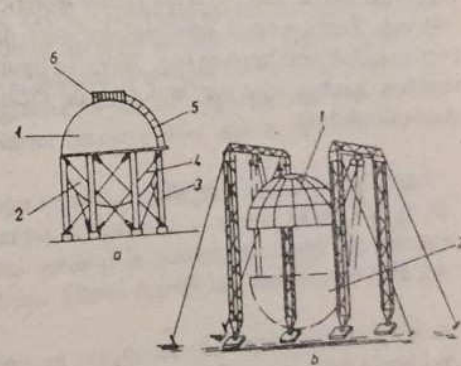


Fig. 16.7. Montarea rezervorului sferic la înălțime.

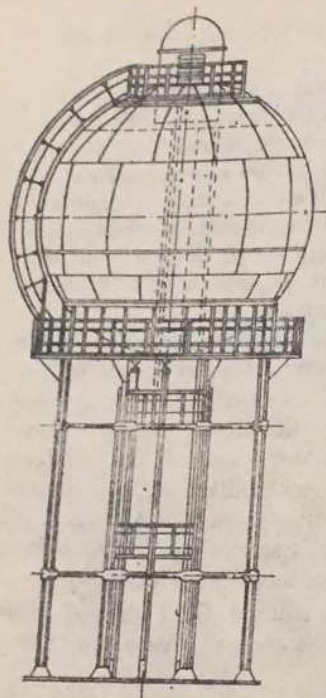


Fig. 16.8. Rezervor sferic.

La rezervoarele sferice amplasate la construcții metalice înalte (fig. 16.8) stabilitatea este asigurată de însuși ansamblul construcției metalice a suportului.

Rezervoarele în formă de picătură de mercur reprezintă forma ideală de rezervor, deoarece din punct de vedere teoretic ele sunt rezervoarele de egală rezistență. Fabricarea și montajul lor sunt dificile. Acest dezavantaj poate fi parțial evitat prin tipizare (fig. 16.9). În figura 16.10 este prezentată schema de montare a unui rezervor în formă de picătură (de egală rezistență), utilizând macarale cu braț.

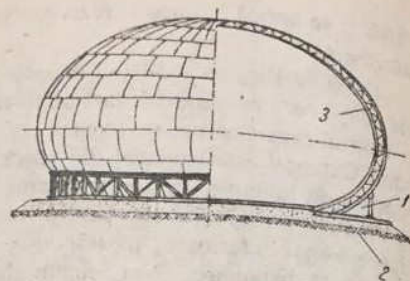


Fig. 16.9. Rezervor în formă de picătură.
1 — diafragme (grinzi); 2 — mel de fundație; 3 — grinzi laminale pentru rigidizarea pereților laterali și a capacului.

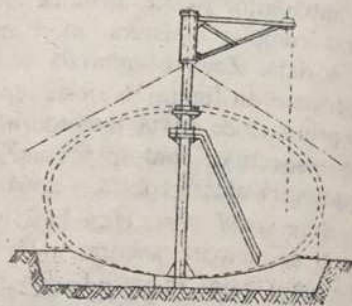


Fig. 16.10. Montarea unui rezervor de egală rezistență cu macaraua cu braț rotativ.

17.

PROTEJAREA SUPRAFETELOR

17.1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Datorită instabilității termodinamice a metalelor în raport cu forma lor oxidată, într-un anumit mediu, poate să se ajungă la degradarea acestora prin coroziune.

Coroziunea este un fenomen nedorit, deoarece conduce la imense pagube materiale și de muncă. După unele aprecieri, pagubele produse de coroziune pot ajunge până la 18% din cantitatea de metal extrasă și prelucrată pe glob într-un an.

Fenomenele degradării prin coroziune sunt complexe și se produc într-o mare diversitate de medii, ca, de exemplu: în contact cu agenții chimici; în atmosferă cu umiditate ridicată sau cu aerosoli marini; în atmosfere poluate cu gaze provenite de la arderea combustibililor sau de la instalațiile industriale; în sol; în apă de mare; în ape reziduale etc.

Coroziunea este procesul de distrugere progresivă a metalelor sub acțiunea lentă de natură chimică sau electrochimică a mediului înconjurător. Agenții de coroziune pot fi:

- *agenți atmosferici*, ca oxigenul, vaporii de apă, bioxidul de carbon etc.;
- *agenți chimici*, ca bioxidul de sulf, hidrogenul sulfurat, sulful, acizii, alcalii și numeroase săruri.

În cadrul condițiilor de exploatare trebuie cunoscute precis: compoziția chimică și gradul de concentrație a mediilor agresive la care este supus aparatul; temperatura și presiunea de exploatare, precum și variația lor în timp; starea de repaus sau de mișcare a fluidelor agresive în aparat; organele sau elementele aparatului care, în afară de atacul fluidelor corozive, sunt supuse la solicitări variabile (oboseală).

Rezistența la coroziune a diferitelor metale și a aliajelor este diferită, astfel:

Oțelul în atmosferă umedă rugineste, acoperindu-se cu un strat de oxid de fier, higroscopic și poros. Rezistența oțelului la coroziune crește cu mărirea conținutului de aluminiu, crom și siliciu. Oțelul rezistă la alcalinii, dar este puternic corodat de acizi.

Zincul se corodează sub acțiunea vaporilor de apă din atmosferă, acoperindu-se cu un strat de hidroxid de zinc, care însă are rolul protector, oprind corodarea mai departe a metalului. De asemenea, zincul este sensibil la

acțiunea acizilor slabi, a alcaliilor, a apei fierbinți etc. Aliajele zincului au o rezistență la coroziune mult mai mică decât a metalului pur.

Plumbul se acoperă în atmosferă cu un strat protector ce oprește corodarea în adâncime. El rezistă la atacul sulfului, al acidului sulfuric, al bioxidului de sulf etc.

Staniul este rezistent la acțiune agenților atmosferici, a acizilor slabi, dar sensibil la coroziunea produsă de acizi tari și de compușii sulfului.

Cuprul este puțin atacat de majoritatea acizilor, bazelor și sărurilor, de gaze și de apa mării, în atmosferă, cuprul se acoperă cu un strat de culoare verde-cenușie care împiedică acțiunea ulterioară a agenților corosivi. Aliajele cu mai puțin de 60% cupru sunt însă ușor corodate.

Bronzurile au rezistență la coroziune mai mare decât a cuprului pur, deoarece la suprafața lor se formează un strat protector mai dens.

Alumiul este puțin sensibil la coroziune, deoarece se acoperă cu un strat aderent de oxizi. Acest strat rezistă acțiunii vaporilor de apă, dar este atacat de acidul clorhidric, de acidul sulfuric și, în special, de apa de mare.

Nichelul este rezistent la coroziune în aerul atmosferic și în alcalii.

Cromul rezistă bine la acțiunea agenților corosivi, nefiind atacat de agenții atmosferici nici la cald, dar nu rezistă la acțiunea alcaliilor.

Argintul este rezistent la acțiunea majorității acizilor, dar atacat de oxidanți puternici.

Sticla de cuarț rezistă la acțiunea acizilor minerali și organici.

Piatra turnată (diabaz) rezistă la majoritatea agenților chimici.

Pentru reducerea coroziunii se iau o serie de măsuri. Totalitatea măsurilor care se aplică pentru reducerea coroziunii în limite acceptabile din punct de vedere tehnico-economic, poartă denumirea de *producție anticorosivă*.

Aceste măsuri constau în:

- aplicarea pe suprafața metalică a unei acoperiri de protecție, organică sau anorganică (metalice și nemetalice);
- micșorarea agresivității mediului corosiv;
- aplicarea protecției electrochimice (catodice și anodice).

Cea mai largă aplicație, în special în construcția de mașini, o are protecția prin acoperiri organice și anorganice.

17.2. PROTECȚIA PRIN ACOPERIRI ORGANICE

Pentru protejarea suprafețelor metalice cu materiale organice se utilizează: polimeri, elastomeri, mase bituminoase, asfalturi etc. Aplicarea lor pe suprafețe metalice se face prin pelicule sau folii.

Pentru realizarea unei protecții de calitate, indiferent de natura materialului utilizat (organic sau anorganic), suprafața metalică trebuie să fie, în prealabil, curățată de grăsimi, oxizi și alte impurități.

17.2.1. Acoperiri cu materiale pelicologene

Acoperirea cu materiale organice sub formă de pelicule – cunoscută în practică sub denumirea de *vopsire* – se realizează cu ajutorul unor substanțe care, în poziția lor, aceste materiale sunt: uleiuri vegetale, derivați celulozici, rășini naturale, rășini sintetice, lianți solubili în apă etc.

Materiale pelicologene se folosesc sub formă de soluții, emulsii sau dispersii în diferiți solvenți pe baza cărora se produc: grunduri, chituri, vopsele, emailuri și lacuri.

Grundurile sunt *dispersii de pigmenți* (în unele cazuri cu rol anticorosiv) și materiale de umplură, care formează pelicule cu aspect mat sau semilucios. Ele au rolul de a realiza aderența între suprafața metalică și straturile de vopsea.

Chiturile sunt *dispersii din lacuri* cu un procent de pigment și materiale de umplură. Ele se aplică peste stratul de grund și au rolul de egalizare și netezire a suprafeței vopsite.

Vopselele sunt *dispersii de pigmenți* și de materiale de umplură în diferite materiale pelicologene, care, după uscarea, dau pelicule colorate mate sau semilucioase. Ele se utilizează ca straturi intermediare sau finale.

Emailurile sunt *sisteme disperse de pigmenți în lacuri* și dau pelicule colorate și lucioase. Emailurile se utilizează ca straturi finale.

Lacurile sunt *materiale pelicologene incolore* sau slab colorate care, după uscarea, dau pelicule transparente și lucioase. Lacurile se utilizează ca straturi finale.

Calitatea protejării prin vopsire este determinată de pregătirea corectă a suprafeței metalice (degresare, decapare, sablare, aliere), de alegerea rațională a sistemului de vopsire (în funcție de mediul în care urmează ca piesa să fie utilizată) și de respectarea riguroasă a tehnologiei de aplicare.

Printre metodele industriale de vopsire întâlnite în practică (în funcție de materialele pelicologene, de forma și dimensiunile pieselor) se enumeră vopsirea prin: imersie, pulverizare, electroforeză, cu valțuri și prin curgere liberă.

Acoperirea prin imersie este un procedeu simplu și economic care se aplică la piesele fabricate în serie și constă în imersarea (cufundarea) pieselor destinate vopsirii în cuve (băi) umplute cu vopsea, menținerea un anumit timp, scoaterea și lăsarea suspendată pentru scurgerea excesului de vopsea și uscarea naturală sau artificială (în cuptoare) a peliculei formate.

Ca metodă de vopsire industrială, imersia este avantajoasă deoarece pierderea de vopsea este foarte mică, scurgerile de pe piese fiind ușor colectate și readuse în cuva de imersie. Metoda se pretează a fi mecanizată și automatizată.

Mecanismul de imersie poate varia de la un transportor simplu până la un echipament specializat cu ajutorul căruia cufundarea și scoaterea piesei, precum și controlul calității se fac automat pe baza unui program stabil.

Cuva de imersie este, de obicei, o construcție sudată ușoară. Pentru evitarea depunerii pigmenților și a materialelor de umplură, vopseaua din cuvă se

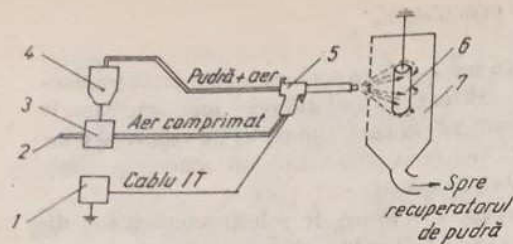


Fig. 17.1. Schema de principiu a unei instalații portabile de pudrare în câmp electrostatic:
 1 - generator electrostatic, 2 - sursă de aer comprimat, 3 - etalon de distribuție a aerului comprimat, 4 - rezervor fluidizator de pudră, 5 - pistol de pudrare, 6 - piesa de protejat, 7 - cabina de recuperare a pudrei excedente

amestecă, continuu sau periodic, cu ajutorul amestecătoarelor mecanice sau cu ajutorul pompelor care pompează vopseaua din zona inferioară a cuvei în zona superioară trecând-o prin conducte și filtre.

Acoperirea prin pulverizare este un procedeu de aplicare a vopselei prin dispersarea acesteia în particule foarte fine cu ajutorul aerului comprimat, a gazului lichefiat sub presiune, sau a unor pompe hidraulice la presiuni ridicate, care antrenează aceste particule și le proiectează pe suprafața metalică.

Pulverizarea cu ajutorul aerului comprimat se poate face la rece sau la cald (60 ... 70°C) precum și în câmp electrostatic.

Vopsirea cu ajutorul aerului comprimat se poate face folosind pistoale cu alimentare proprie cu vopsea (în cazul producției de serie mică) sau de la o sursă exterioară.

Instalațiile de pulverizare cu aer comprimat sunt compuse dintr-un compresor mobil sau fix, un separator de apă și de ulei, un rezervor cu vopsea (prevăzut cu amestecător mecanic sau pneumatic) și pistolul de vopsire.

Pulverizarea sau acoperirea în câmpul electrostatic (fig. 17.1) constă în aceea că particulele pulverizate de vopsea sau pudră din material plastic încărcate cu sarcini electrice cu ajutorul unui dispozitiv special de electrizare, sunt atrase de piesa de vopsit - legată la masă.

Una din caracteristicile procedurii pulverizării electrostatice o constituie faptul că grosimea acoperirii se autolimitează.

Acoperirea prin electroforeză (fig. 17.2) se realizează prin imersarea piesei într-o cuvă care conține materialul pelculogen și legarea ei la polul pozitiv al unei surse de curent continuu. Cuvă se conectează la polul negativ al sursei de curent. Sub acțiunea curentului electric se produc simultan trei procese:

- migrarea electrostatică a particulelor de rășini și de pigment încărcate negativ;

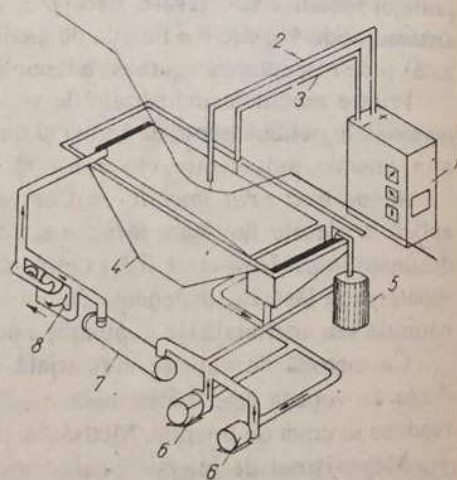


Fig. 17.2. Schema unei instalații de vopsire prin electroforeză:

1 - sursă de curent continuu, 2 - conexiune anodică, 3 - conexiune catodică, 4 - cuvă de vopsire, 5 - cuvă pentru pregătirea vopselei, 6 - pompe, 7 - schimbător de căldură, 8 - filtru.

- electroliza soluțiilor apoase;
- deshidratarea peliculei prin electroosmoză.

Materialele folosite la acoperirea prin electroforeză sunt realizate din rășini solubile în apă, pigmenți, apă, uneori și solvenți organici, precum și diferiți aditivi: agenți de dispersare, agenți contra sedimentării etc.

Uscarea suprafețelor vopsite. Uscarea sau întărirea substanțelor pelculogene se poate realiza fie prin procese fizice (evaporarea solventului), fie prin reacții chimice (oxidare și polimerizare).

Uscarea prin evaporarea solvenților nu necesită, de regulă, mijloace speciale; întărirea peliculei producându-se destul de repede (uscarea naturală). Procesul de uscare a peliculelor transformabile prin reacții chimice decurge lent, el poate dura 24 ... 72 de ore pentru un strat, dacă uscarea nu se face cu aparate speciale care, ridicând temperatura, reduc simțitor timpul de uscare (de regulă până la 30 de minute).

Ridicarea temperaturii suprafețelor vopsite se realizează, de regulă, în încăperi speciale denumite *cuptoare* sau *tunele de uscare* prin: *convecție* (curenți de aer cald), *radiații infraroșii*, *curenți de inducție de înaltă frecvență*.

17.2.2. Acoperiri cu folii din materiale organice

Pentru protejarea suprafețelor metalice, se folosesc două tipuri de materiale organice, și anume: *elastomeri* (cauciucuri naturale și sintetice) și *mase plastice* (policlorura de vinil, polietilena, teflonul etc.). Ambele tipuri de materiale se aplică pe suprafața metalică cu ajutorul adezivilor.

Acoperirea cu elastomeri (cu unul sau mai multe straturi) se utilizează pentru protejarea suprafețelor vaselor de reacție, a rezervoarelor de depozitare, a conductelor etc., în general, a utilajelor supuse acțiunii agenților corosivi.

Calitățile elastomerilor sunt determinate de aditivii folosiți, un rol important avându-l sulfurul (necesar vulcanizării). În funcție de cantitatea de sulfur utilizat, se pot obține folii elastice sau rigide (ebonită).

Durata de viață a protecțiilor realizate cu ajutorul elastomerilor depinde, în mare măsură, de forma suprafețelor care se protejează. Se pot proteja piese îmbinate prin sudură cu condiția ca sudura să fie corect realizată și bine pătrunsă.

Protejarea cu materiale plastice, în comparație cu celelalte acoperiri pe bază de compuși organici, prezintă o serie de avantaje, printre care:

- grosimea stratului depus este mai mare, ceea ce-i conferă un plus de rezistență la deteriorare;
- foliile sunt realizate din materiale rezistente la coroziune, iar proprietățile acestora pot fi controlate încă din timpul procesului de elaborare;
- eventualele defecte ale foliilor pot fi detectate și reparate cu ușurință.

17.3. Protejarea prin acoperiri anorganice

Protejarea prin acoperiri anorganice metalice și nemetalice se poate face cu materiale metalice și nemetalice.

17.3.1. Protejarea prin acoperiri metalice

Protejarea suprafețelor prin acoperiri metalice constă în depunerea unui strat de metal pe suprafețele pieselor, strat care să le confere rezistența la coroziune. Aceasta se poate realiza prin mai multe metode, printre care se enumeră: electrochimică (galvanică), chimică, cufundare în metal topit (termică), difuzie termică, pulverizare cu pistolul sau cu flacăra. Metodele cele mai des utilizate în construcția de mașini sunt următoarele: metalizarea electrochimică, metalizarea prin cufundare în metal topit și metalizarea prin pulverizare.

Metalizarea electrochimică (galvanică) se realizează cu ajutorul curentului continuu dintr-o soluție (electrolit) care conține ionii metalului cu care urmează să se facă acoperirea. Piesa de protejat se introduce în electrolitul respectiv împreună cu metalul cu care se face protejarea și care se prezintă sub formă de bare sau benzi (anozi). Piesa se leagă la polul negativ al sursei de curent continuu, iar anozii materialului de protecție la polul pozitiv.

Procesul electrochimic ce are loc la catod, respectiv pe suprafața piesei, constă în depunerea metalului din soluție, în timp ce la anod se produce dizolvarea acestuia (în cazul metalelor solubile) sau descărcări de ioni (OH) în cazul metalelor insolubile.

Acoperirile electrochimice pot fi utilizate în scop protector, protector-decorativ și protector-funcțional.

Pentru realizarea unei depuneri de calitate, este absolut necesară respectarea unui proces tehnologic, care constă din:

- degresare (îndepărtarea grăsimilor prin tratare cu solvenți organici și soluții alcaline);
- spălare (în apă caldă și apă rece curgătoare);
- decapare (îndepărtarea oxizilor metalici cu ajutorul soluțiilor acide);
- spălare (în apă rece curgătoare);
- depunerea electrochimică a metalului;
- spălare (în apă rece curgătoare);
- uscare.

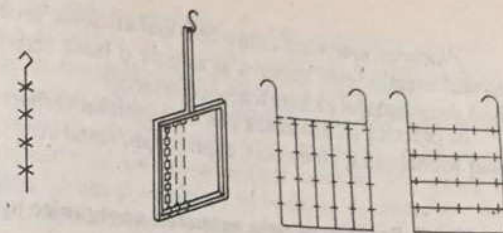
Sunt posibile unele modificări ale acestui proces tehnologic, în funcție de natura metalului de depus și a scopului urmărit prin depunere. De exemplu, în cazul cromării dure, înainte de depunerea electrochimică a metalului, pentru mărirea aderenței acestuia la piesă, se aplică și a asperizare a suprafeței piesei. Asperizarea se realizează pe cale electrochimică într-o soluție cu săruri de crom, piesa fiind conectată, timp de 1 ... 2 minute la polul pozitiv al sursei de curent.

În cazul depunerii zincului și cadmiului, pentru mărirea rezistenței acestora la coroziune, înainte de uscare, piesele sunt supuse unui tratament suplimentar de pasivizare. Pasivizarea se realizează prin imersie într-o soluție cu săruri de crom (bicromat de potasiu, anhidridă cromică).

Acuratețea pregătirii suprafețelor, în cazul acoperirilor galvanice, este mult mai importantă decât în cazul protecției prin vopsire.

Băile galvanice pot fi folosite și pentru depuneri pe piese mici, dar trebuie avut în vedere faptul că timpul necesar fixării pieselor în dispozitive este mare.

Fig. 17.3. Dispozitive de prindere și suspendare.



Pentru depunerile electrochimice în băi staționare, piesele se suspendă în dispozitive speciale (fig. 17.3). Aceste dispozitive asigură și transportul de electricitate de la bara catodică la piesă. Dispozitivele se construiesc din metale bune conducătoare de electricitate (cupru, alamă) și se izolează electric în afara locurilor de contact piesă-dispozitiv și dispozitiv-bară catodică.

Metalizarea prin cufundare în metal topit. Această metodă se poate aplica numai în cazul metalelor cu un punct de topire scăzut și anume: zinc, staniu, plumb.

Ca și în cazul protecțiilor precedente, piesele care urmează să fie acoperite prin cufundare în metal topit, trebuie să fie sablate, degresate (în solvenți organici și în soluții alcaline) și decapate. În plus, aceste piese trebuie tratate cu fondanți prin imersie în soluții de clorură de amoniu și clorură de zinc. După uscarea soluției de fondant, piesele urmează să fie introduse în metalul topit, temperatura de lucru fiind conform indicațiilor din tabelul 17.2.

Metalizarea prin pulverizare. Această metodă constă în împrăștierea suprafeței piesei cu particule fine de metal protector în stare topită. Antrenarea particulelor de metal topit se efectuează cu ajutorul aerului comprimat. Topirea metalului, care poate fi sub formă de pulbere sau sârmă, se realizează cu flacăra oxiacetilenică, în arc electric sau cu ajutorul curentilor de înaltă frecvență. Există și un procedeu mai modern de metalizare cu plasmă.

Metalul pulverizat prin unul din procedeele amintite, este reținut mecanic pe suprafața piesei, sub forma unor depuneri globulare aderente care pot atinge grosimi mari de strat (în scopuri protectoare se aplică straturi între 100 și 300 μm).

În practică, metalizarea prin pulverizare se poate realiza cu foarte multe metale, de exemplu: zinc, aluminiu, staniu, plumb, bronz etc. din care primele două au cea mai largă utilizare.

Metoda netezirii prin pulverizare este foarte utilă, deoarece ea permite protecția construcțiilor metalice chiar pe șantier.

Placarea, procedeu foarte mult utilizat în industriile de proces se realizează prin aplicarea de benzi sau foi metalice cu rezistență ridicată față de mediul corosiv, pe suprafața pieselor (table, recipienti etc). *Aderența* dintre cele două metale se obține prin *presare*, *laminare* sau *sudare*.

Stratul metalic de acoperire trebuie să constituie 10 ... 20% din grosimea ansamblului.

Placarea este unul dintre cele mai eficiente procedee de protecție, deoarece stratul metalic este neporos și asigură o bună rezistență la coroziune. Prezintă însă dezavantajul că este foarte costisitoare.

În practică se utilizează placarea oțelului carbon cu oțel anticorosiv, nichel, aliaj Monel (aliaj cu nichel), cupru, titan, tantal etc.

17.3.2. Protejarea prin acoperiri anorganice nemetalice

În această categorie sunt incluse: emailurile, acoperirea cu materiale anorganice ceramice, oxidarea electrochimică (la aluminiu) etc. Mai există și alte protecții anorganice nemetalice, care datorită efectului anticorosiv scăzut, nu se folosesc decât sub formă de substrat la alte tipuri de protecții – cazul fosfatării oțelului și a oxidării chimice, care constituie un excelent substrat pentru vopsire sau ungere.

Emailarea. Emailarea constă în aplicarea pe suprafața metalică a unei mase sticloase, în majoritatea cazurilor opacă, obținută prin topirea la temperatură înaltă (1 200 ... 1 300°C) a rocilor naturale (feldspat, nisip, argilă) cu *fondanți* care scad temperatura de topire (borax, florură) și cu *oxizi metalici* care conferă culoare și aderență la metalul suport (oxizi de cupru, nichel, cobalt, crom).

Pentru obținerea unei emailări de bună calitate (cu aderență ridicată la metalul de bază și rezistență la șocurile termice), materialul de protecție se aplică în două etape și anume:

– *etapa I*, emailul de bază (grundul) care aderă perfect la metal și suportă foarte bine diferența dintre coeficientul de dilatare al metalului și cel al emailului de acoperire;

– *etapa a II-a*, emailul de acoperire trebuie să reziste la agenți chimici și la uzură.

Compoziția emailului de bază diferă de cea a emailului de acoperire, el conține oxid de cobalt care asigură aderența acestuia la suprafața metalică.

Emailarea se face, ca și în cazul celorlalte metode de protecție, numai pe suprafețe metalice care în prealabil au fost degresate și decapate. În foarte multe cazuri, înainte de emailare, se efectuează o detensionare a piesei metalice printr-un tratament termic la 650 ... 800°C.

Aplicarea emailului se face pe cale umedă, prin pulverizare cu pistolul. Se aplică primul strat de grund, care apoi este supus și arderii în cuptor electric la temperatura de 880 ... 950°C, pentru vitrifiere. După o răcire lentă, se aplică al doilea strat de grund, care are rolul de a prelua solicitările mecanice și termice. Acesta se usucă și vitrifică în aceleași condiții.

Emailul de acoperire se aplică, tot în straturi succesive, care se supun pe rând arderii. În general, pe fontă și pe oțel, se depun 3 ... 4 straturi de email de acoperire, care au în final o grosime de 0,6 ... 1 mm.

O mare importanță la emailare o are și forma piesei. Aceasta trebuie să fie, pe cât posibil, cilindrică, sferică sau cu raze mari de racordare între suprafețe plane.

Căptușirea cu materiale anorganice ceramice. Pentru căptușirea cu materiale anorganice se utilizează materiale cu structură compactă (ceramice antiacide și porțelan) și materiale cu structură poroasă (ceramice refractare).

Materiale antiacide se folosesc sub formă de cărămizi antiacide, plăci ceramice și blocuri antiacide fasonate, la căptușirea unor reactoare, rezervoare, turnuri de absorbție din industria de sinteză a acizilor minerali (cu excepția acidului fluorhidric), industria hârtiei și celulozei, la băile de decapare etc. Ele au diferite forme, unele fiind fasonate pentru căptușirea suprafețelor conice și sferice.

Materialele ceramice se aplică pe utilaje cu ajutorul unor lianți care pot fi de natură:

– anorganică (cimenturi, chituri);

– organică – mult mai stabili în medii corosive.

Pentru a asigura integritatea căptușelii, natura cimentului depinde de mediul corosiv. Astfel, în medii acide se utilizează ciment format din roci măcinate, bogate în silice și accelerator de priză, fluorsilicat de sodiu. Întărirea cimentului (priza) se realizează prin descompunerea silicatului de sodiu și precipitarea acidului ortosilic care se deshidratează cu formare de bioxid de siliciu.

Bioxidul conținut sub forma unui gel se întărește în timp. Pentru a mări viteza procesului, se folosesc acceleratori de priză.

La medii alcaline se utilizează ciment Portland, un amestec de argilă și calcar, ars la 1 500°C. Acesta împreună cu apa formează o pastă, care suferă un proces de hidratare și hidraliză în urma căruia se întărește.

17.4. CONTROLUL CALITĂȚII ACOPERIRILOR DE PROTECȚIE

Durata de viață a unui aparat sau utilaj, care funcționează sau vine în contact cu mediile corosive (soluții, gaze, atmosferă poluantă etc.) este determinată, pe lângă alți factori, și de calitatea protecției aplicate.

La majoritatea protecțiilor de suprafață utilizate în prezent (organice și anorganice), rezistența la coroziune este determinată de:

– aderența stratului protector la suprafața metalică;

– grosimea acoperirilor de protecție.

Aderența stratului protector la suprafața metalică este determinată de gradul de acuratețe al suprafeței pe care se aplică și de parametrii de lucru (grosimi prea mari de strat la protecție prin vopsire, electroliți și densități de curent necorespunzătoare la acoperirile electrochimice etc.).

Gradul de acuratețe este factorul determinant, suprafețele lipsite de grăsimi, oxizi metalici (rugină), praf și umiditate (în cazul protecției prin vopsire) permit obținerea de straturi protectoare cu o bună aderență la metalul suport.

Cea mai răspândită *metodă pentru determinarea aderenței* este cea a grilei; ea se utilizează atât pentru acoperiri metalice obținute pe cale electrochimică, cât și pentru cele organice peliculogene (prin vopsire).

Metoda constă în executarea, cu ajutorul unui cuțit special, de tăieturi care secționează acoperirea. Tăieturile se trasează paralel și echidistant pe două direcții perpendiculare, astfel ca suprafața să fie compusă din pătrate mici cu latura de 1 mm (pentru acoperirile metalice electrochimice și pentru cele organice peliculogene într-un singur strat) și de 2 mm (pentru materiale organice peliculogene în mai multe straturi).

Aderența acoperirii de protecție se consideră corespunzătoare dacă la intersecția tăieturilor nu se produce desprinderea stratului în nici un punct de pe suprafața grilei.

La determinarea aderenței acoperirilor metalice depuse electrochimic, se mai utilizează metoda șocului termic, care pune în evidență lipsa de aderență, prin apariția bășicilor.

Grosimea acoperirilor de protecție se poate determina prin metode fizice, chimice și electrochimice, distructive și nedistructive.

În tehnica modernă, cea mai largă utilizare o au metodele fizice nedistructive magnetică și cu radiații.

Metoda magnetică permite determinarea grosimii locale a unei acoperiri nemagnetice (pelicule organice, zinc, cadmiu) depuse pe un suport magnetic. Determinările de grosime rezultă prin:

– diferența între forța de atracție a unui magnet permanent față de o piesă feroasă și forța de atracție față de o piesă feroasă pe care s-a depus un strat dintr-un metal nemagnetic.

Metoda cu radiații este o metodă radiometrică de măsurare a grosimii acoperirilor metalice cu ajutorul radiațiilor nucleare emise de substanțe radioactive. Intensitatea radiațiilor nucleare retroîmprăștiate depinde de grosimea materialului prin care pătrund radiațiile. Precizia metodei este de $\pm 1 \dots 6\%$.

Dintre metodele distructive cea mai largă răspândire o are *metoda dizolvării electrochimice*, care constă în dizolvarea anodică, la curent constant, a metalului de acoperire și măsurarea timpului necesar până la atingerea metalului de bază. Procesul se realizează cu ajutorul unei celule metalice (catod) care se aplică prin intermediul unei garnituri de cauciuc pe suprafața piesei de măsurat (anod). Drept electrolit se utilizează soluții speciale fiecărui metal de acoperire, iar finalul determinării este controlat prin modificarea tensiunii la bornele celulei.

Pe acest principiu este construit aparatul numit *Grosmetru* realizat în institutele de proiectări ale industriei electrotehnice din țara noastră.

CUPRINS

1. Utilajul tehnologic și instalațiile de proces	5
1.1. Industrii de proces din țara noastră	5
1.2. Utilajul tehnologic din industriile de proces	6
1.3. Rolul utilajului tehnologic	7
1.4. Forme geometrice utilizate pentru construcția utilajului tehnologic	8
1.5. Învelișuri și corpuri cu perete gros	8
1.5.1. Învelișurile și construcția utilajului tehnologic	8
1.5.2. Corpurile cu perete gros în construcția utilajului tehnologic	13
1.6. Solicitarea utilajelor tehnologice. Grosimea peretelui	15
1.7. Materiale utilizate pentru construcția utilajului tehnologic	16
1.7.1. Materiale metalice feroase	18
1.7.2. Metale neferoase	21
1.7.3. Materiale nemetalice	22
1.7.4. Materiale pentru protecție anticorosivă	22
1.7.5. Materiale de etanșare	23
2. Recipiente sub presiune	24
2.1. Construcția recipientelor cu perete subțire	24
2.1.1. Corpul cilindric sau conic	25
2.1.2. Funduri și capace	29
2.1.3. Flanșe	31
2.1.4. Racorduri	32
2.1.5. Guri de vizitare	32
2.1.6. Suporturi și urechi de susținere	33
2.1.7. Bosaje	35
2.1.8. Mantale și serpentine de încălzire (sau de răcire)	36
2.1.9. Armături	37
2.1.10. Controlul fabricării recipientelor sub presiune	39
2.2. Încercarea (proba) hidrolică și pneumatică	40
2.2.1. Încercarea de rezistență	41
2.2.2. Încercarea de etanșitate	41
2.2.3. Presiunea de încercare	42
2.3. Calculul recipientelor cu perete subțire	44
2.3.1. Recipiente sferice	45
2.3.2. Recipiente cilindrice	47
2.4. Construcția și calculul recipientelor cu perete gros	48
2.4.1. Fabricarea corpurilor cu perete gros	49
2.4.2. Etanșări și închideri de înaltă presiune	51
2.5. Calculul recipientelor cu perete gros	51

3. Rezervoare	52
3.1. Generalități	52
3.2. Rezervoare atmosferice cilindrice verticale	53
3.2.1. Elemente constructive specifice	53
3.2.2. Elemente de calcul	57
3.3. Rezervoare cilindrice verticale cu elemente plutitoare	58
3.4. Rezervoare sferice	62
3.4.1. Generalități	62
3.4.2. Elemente constructive și de calcul	63
4. Dispozitive de amestecare	66
4.1. Utilaje pentru amestecare cu dispozitive rotative	67
4.1.1. Tipuri principale de curgere care apar la amestecare	68
4.1.2. Tipuri principale de amestecătoare rotative	68
4.1.3. Vârtejul central și măsuri pentru împiedicarea formării vârtejului	73
4.1.4. Amplasarea dispozitivelor de amestecare	75
4.1.5. Acționarea și rezemarea dispozitivelor de amestecare	78
4.2. Dispozitive de etanșare	80
5. Aparare tip coloană	82
5.1. Aparare tip coloană în industriile de proces	82
5.2. Rolul aparatelor tip coloană	84
5.3. Coloane cu umplură	85
5.3.1. Tipuri de corpuri de umplură	86
5.3.2. Diametrul coloanei cu umplură	88
5.3.3. Înălțimea stratului de umplură	88
5.3.4. Încărcarea și descărcarea umplurii	89
5.3.5. Suporturi pentru umplură	90
5.3.6. Dispozitive pentru redistribuirea lichidului	91
5.3.7. Construcția coloanelor cu umplură	91
5.4. Coloane cu talere	92
5.4.1. Circulația lichidului	92
5.4.2. Talerele	94
5.5. Corpul coloanei	100
5.6. Rezemarea coloanei	101
5.7. Amenajări exterioare	101
6. Utilaje pentru transfer termic	104
6.1. Generalități	104
6.2. Schimbătoare de căldură	104
6.3. Evaporatoare	108
6.4. Condensatoare	109
6.5. Separatoare de picături	111
6.5.1. Rol funcțional, tipuri constructive, descriere	111
6.5.2. Separatorul inerțial	111
6.5.3. Separatorul centrifug	112
6.6. Materiale de construcție specifice	112
6.7. Elemente constructive și de calcul specifice aparatelor tubulare	112
6.8. Asamblarea generală a schimbătoarelor de căldură	119
6.8.1. Procesul tehnologic de asamblare a schimbătorului cu plăci tubulare rigide	119
6.8.2. Procesul tehnologic de asamblare a schimbătoarelor de căldură cu cap flotant	120

7. Agregate cu tambur rotativ	122
7.1. Rol funcțional, tipuri constructive, descriere	122
7.2. Subansamblurile agregatelor cu tambur rotativ	123
7.2.1. Tambure rotative	123
7.2.2. Elemente de calcul	126
7.3. Grupul de acționare	128
7.4.1. Rol funcțional, descriere	131
7.4.2. Coroană dințată de acționare	131
7.5. Camere de capăt	132
7.5.1. Rol funcțional, materiale, descriere, proces tehnologic	133
7.5.2. Etanșarea tamburelor rotative	135
7.6. Dispozitive, anexă interioare	136
7.7. Tehnologia de asamblare a agregatelor cu tambur rotativ	137
8. Utilaje pentru vehicularea fluidelor	138
8.1. Pompe	138
8.1.1. Noțiuni de bază	138
8.1.2. Clasificarea pompelor	140
8.2. Compresoare	149
8.2.1. Compresoare propriu-zise	149
8.2.2. Pompe de vid	153
9. Mașini pentru mărunțirea materialelor solide	156
9.1. Considerații generale	156
9.2. Concasoare	157
9.2.1. Rol funcțional, tipuri constructive, descriere, părți componente	157
9.2.2. Concasorul cu făci	158
9.2.3. Concasorul cu dublă articulație	160
9.2.4. Concasoarele conice	161
9.2.5. Concasoarele cu ciocane	162
9.2.6. Concasorul prin impact	162
9.2.7. Materiale, execuție, montaj	164
9.3. Mori cu tambur rotativ	164
9.3.1. Rol funcțional, tipuri constructive	164
9.3.2. Mori cu bile cu funcționare periodică	164
9.3.3. Mori biconice	166
9.3.4. Mori vibratoare	166
9.4. Mori cu corpuri de rostogolire	168
10. Utilaje pentru fracționarea granulometrică a materialelor solide polidisperse	168
10.1. Generalități. Clasificări	169
10.2. Mașini pentru clasarea mecanică	169
10.2.1. Organul activ al mașinii	170
10.2.2. Tipuri constructive de ciururi	173
10.3. Utilaje pentru separarea pneumatică	174
11. Cazane și turbine cu abur	174
11.1. Cazane de abur	174

11.1.1. Rol funcțional, descriere, părți componente	174
11.1.2. Parametrii principali ai cazanelor de abur	175
11.1.3. Tipuri principale de cazane de abur	176
11.2. Turbine cu abur	178
11.2.1. Funcționarea turbinelor cu abur	178
11.2.2. Părțile componente ale turbinelor cu abur	181
11.2.3. Turbine cu trepte de presiune	189
12. Utilaje pentru energia nucleară	191
12.1. Reactorul nuclear	191
12.2. Acceleratoare de particule	197
13. Construcții metalice	201
13.1. Caracteristicile construcțiilor metalice	201
13.2. Clasificarea construcțiilor metalice	202
13.3. Elemente componente ale construcțiilor metalice	204
13.3.1. Prinderi, Soluții constructive	204
13.3.2. Înnădiri, Soluții constructive	205
13.4. Elemente de construcții metalice și calculul lor	208
13.4.1. Alcătuirea barelor supuse la eforturi axiale	208
13.4.2. Alcătuirea barelor supuse la încovoiere	209
13.5. Grinzi cu inimă plină	210
13.5.1. Generalități	210
13.5.2. Elemente constructive	211
13.5.3. Grinzi cheson și grinzi expandate (ajurate)	214
13.5.4. Înnădirea grinzilor	214
13.5.5. Reazeme	215
13.5.6. Tehnologia de fabricație	218
13.6. Grinzi cu zăbrele	219
13.6.1. Tipuri de grinzi cu zăbrele	219
13.6.2. Elemente dimensionale și componente ale grinzilor	221
13.6.3. Încrucșări	222
13.6.4. Colțuri	222
13.6.5. Ramificații	223
13.6.6. Articulații	223
13.6.7. Contravântuiri	224
13.6.8. Grinzi ușoare cu zăbrele	225
13.6.9. Tehnologia de execuție și asamblare	225
14. Stâlpi, turnuri, piloni	226
14.1. Elemente componente	226
14.2. Tehnologia fabricării stâlpilor, turnurilor și pilonilor	228
14.3. Tipuri de stâlpi	229
14.4. Montarea stâlpilor	230
14.4.1. Montarea stâlpilor de înălțime mică	230
14.4.2. Montarea stâlpilor foarte înalți	233
14.4.3. Montarea stâlpilor pentru linii electrice	233
14.4.4. Toleranțe la montajul stâlpilor	234
15. Tehnologii de fabricare	235
15.1. Determinarea formei și dimensiunilor „desfășuratelor” semifabricatelor	235
15.2. Fabricarea recipientelor cu perete subțire	238

15.2.1. Tehnologia de fabricare a corpului cilindric	238
15.2.2. Tehnologia de fabricare a fundurilor și capacelor	241
15.2.3. Tehnologia de fabricare a flanșelor	244
15.2.4. Asamblarea și probarea recipientelor sub presiune	245
15.3. Fabricarea aparatelor de tip coloană	245
15.4. Fabricarea corpului recipientelor cu peret gros	247
15.4.1. Fabricarea corpului recipientelor cu perete gros prin înfășurare din tablă	248
15.4.2. Fabricarea corpului recipientelor cu perete gros prin încărcare cu sudură elicoidală	250
16. Tehnologii de asamblare a rezervoarelor	250
16.1. Tehnologia de asamblare a rezervoarelor cilindrice	250
16.2. Tehnologia de asamblare a rezervoarelor sferice	253
17. Protejarea suprafețelor	257
17.1. Noțiuni introductive	257
17.2. Protecția prin acoperiri organice	258
17.2.1. Acoperiri cu materiale peliculogene	259
17.2.2. Acoperiri cu folii din materiale organice	261
17.3. Protecția prin acoperiri anorganice	261
17.3.1. Protecția prin acoperiri metalice	262
17.3.2. Protecția prin acoperiri anorganice nemetalice	264
17.4. Controlul calității acoperirilor de protecție	265