

Ing. **VICTOR POPESCU**
Profesor universitar emerit

CONSTRUCȚII METALICE

Ediția a treia

Redactor: Ing. **EMILIA ILE**
Tehnoredactor: **VALERIU MORĂRESCU**
Coperta și supracoperta: **SIMONA NICULESCU**
Bun de tipar: 6.05.1975 Căli de tipar: 22,50
Tiraj: 5300 + 75 exemplare legate C.Z. 624.014

Tiparul executat sub comandă
nr. 959 la
Intendența Politică
"13 Decembrie 1918"
Str. Găgăre Alexandrescu nr. 98-97
București
Republica Socialistă România



EDITURA TEHNICĂ
București — 1975

PREFAȚĂ LA EDIȚIA A TREIA

În lucrare sînt expuse elementele teoretice și practice necesare alefînirii și calculului părților care compun construcțiile metalice: caracteristicile materialelor, alegîntirea și comportarea barelor, îmbînăgiri, rezeme etc., tratate la nivelul actual al tehnicii. În acest scop au fost introduse capitole noi și au fost revizuite cesară calculul la stările limită, aceeași metodă de calcul fiind adoptată și în Flambajul barelor este tratat cu înarea în considerare a imperfecțiunilor pe care le prezintă bara reală (imperfecțiuni geometrice, de structură, excentricități în- vitabile). La dimensionarea barelor supuse la forță axială și momente sînt date elemente pentru înarea în considerare a efectelor de ordinul doi.

Au fost introduse capitole referitoare la proiectarea și calculul elementelor de construcții ale căntute din profile cu pereți subțiri formate la rece.

În final se face o analiză a concepțiunii de siguranță a construcțiilor, privit din punct de vedere ingheresc.

Lucrarea interesează ingherii constructori din proiectare și execuție; este utilă și studenților din facultățile de construcții.

De la apariția ediției a doua a acestei cărți și pînă în prezent, în domeniul construcțiilor metalice au pătruns numeroase elemente noi, care au contribuit în largă măsură la îmbunătăgirea soluțiilor constructive și la perfecționarea metodelor de calcul. În țara noastră se fabrică astăzi o gamă mai mare de oțeluri pentru construcții, cu calități îmbunătăgite, astfel că ingherul proiectant este în situația de a putea alege oțelul cel mai potrivit pentru construcția pe care urmează să o realizeze. Este generală trecerea la construcții metalice sudate; în țară se fabrică materialele necesare acestui scop și s-au creat condițiile tehnice și materiale pentru executarea și montarea chiar a unor construcții speciale și de mare importanță. Volumul construcțiilor metalice realizate și în curs de realizare crește continuu.

Instituțiile noastre de proiectare fac astăzi față ușor celor mai complexe probleme de proiectare din domeniul construcțiilor metalice, pe care le rezolvă cu succes.

Luarea a fost complet revizuită, ținîndu-se seama de progresele realizate în cei 10 ani care au trecut de la apariția ultimei ediții. Pe lângă o restructurare de ansamblu a întregului material, necesară punerii problemelor tratate în concordanță cu concepțiile actuale, s-au introdus capitole noi și altele au fost modificate complet sau aproape complet. S-a dezvoltat partea privitoare la distrugerea elementelor din oțel; s-a introdus, făcîndu-se o amplă analiză, problema rușurilor fragile și a factorilor care le favorizează. Partea privitoare la alegerea oțelurilor pentru construcțiile sudate a fost pusă în concordanță cu diferențele prescripții în vigoare la această dată.

Metodele de calcul, adoptate în cuprînsul lucrării, au fost tratate conform tendințelor noi acceptate astăzi pentru construcțiile metalice; în țara noastră fiind încă în vigoare metoda rezistențelor admisibile, sînt date și elementele necesare folosirii acestei metode de calcul.

Flambajul barelor sub acțiunea forțelor axiale este tratat luîndu-se în considerare imperfecțiunile barei (de formă, structură); acest mod de a proceda corespunde mai bine concepțiilor teoretice și rezultatelor cercetărilor experimentale; de imperfecțiunile barei s-a ținut seama și la determinarea eforturilor inițiale în barele supuse la forțe axiale și momente încovoietoare.

S-au introdus într-o formă destul de dezvoltată elemente pentru alcătuirea și calculul construcțiilor din aliaje de aluminiu și din profile cu pereți subțiri formate la rece, din care, în țara noastră, au început să se realizeze diferite tipuri de construcții.

În prezenta lucrare s-a adoptat sistemul de unități SI, a cărui aplicare este obligatorie și în țara noastră. Ca urmare, forțele sunt exprimate în daN; I daN este egal aproximativ cu 1 kg forță. Eforturile unitare sunt exprimate în daN/cm² sau daN/mm².

AUTORUL

Prefață la ediția a treia	5		
Introducere	9		
1. Evoluția generală a construcțiilor metalice	9		
2. Evoluția construcțiilor metalice în țara noastră	9		
I. Materiale și caracteristicile lor	32		
1. Fonta	32		
2. Oțeluri	32		
3. Caracteristicile oțelurilor pentru construcții	36		
4. Aliaje de aluminiu	43		
II. Produse din metal folosite la construcții metalice	51		
1. Procedee de fabricare	51		
2. Laminare din oțel	53		
3. Produse din aliaje de aluminiu	56		
III. Structura metalelor	57		
1. Structura cristalină a metalelor	57		
2. Structura aliajelor fier-carbon	61		
3. Structura oțelurilor aliate	67		
4. Structura aliajelor de aluminiu	68		
5. Recristalizarea	70		
6. Îmbătășirea	70		
7. Structuri de laminare	73		
8. Tratamente termice	76		
IV. Comportarea oțelului și a aliajelor de aluminiu	80		
1. Comportarea oțelului în domeniul elastic și plastic	80		
2. Comportarea aliajelor de aluminiu	84		
3. Diferite influențe asupra comportării oțelurilor și aliajelor de aluminiu	86		
4. Ruperea oțelului și aliajelor de aluminiu la solicitări statice	93		
5. Ruperea oțelurilor și aliajelor de aluminiu la solicitări variabile	94		
6. Ruperea oțelurilor și aliajelor de aluminiu la încovoiere prin soc	102		
7. Ruperea fragilă	105		
8. Distrugerea oțelului și aliajelor de aluminiu prin coroziune	115		
V. Metode pentru calculul construcțiilor metalice	119		
1. Acțiuni, solicitări	119		
2. Siguranța construcției	120		
3. Metoda stărilor limită	124		
4. Metoda rezistențelor admisibile	129		
VI. Sudarea	132		
1. Tehnica sudării și importanța ei	132		
2. Procedee de sudare	133		
3. Formarea cordonului de sudură	137		
4. Deformații și eforturi proprii din sudare	140		
5. Materiale pentru sudare	148		
6. Tăierea metalelor	141		
7. Cordoane de sudură	153		
8. Comportarea sudurilor la diferite solicitări și distribuția eforturilor unitare	159		
9. Calculul sudurilor	164		
10. Calitatea și controlul calității sudurilor	167		
VII. Niturarea	174		
1. Nituri pentru construcții	171		
2. Comportarea niturilor la diferite solicitări	176		
3. Calculul îmbinărilor niturate	178		
4. Alegerea matoralului și controlul calității niturii	180		
VIII. Îmbinări cu șuruburi	182		
1. Șuruburi pentru construcții	182		
2. Comportarea îmbinărilor cu șuruburi	185		
3. Calculul șuruburilor	185		
4. Controlul calității îmbinărilor cu șuruburi	189		
IX. Elemente solificate la întindere	194		
1. Alcătuiră secțiunii barelor	191		
2. Solidizarea barelor întinse	192		
3. Calculul barelor supuse la întindere axială	193		
X. Elemente solificate la compresiune axială	196		
1. Alcătuiră secțiunii barelor	196		
2. Solidizarea barelor comprimate	197		
3. Calculul barelor cu secțiune pînă comprimate axial	199		
4. Calculul barelor cu secțiuni compuse, comprimate axial	204		
5. Stabilitatea locală a peretilor elementelor comprimate	212		
6. Lungimi de flambaj și coeficienți λ	214		
XI. Elemente cu secțiune pînă supuse la încovoiere	216		
1. Alcătuiră generală a secțiunii	216		
2. Verificarea secțiunii grinzilor încovoiate	223		

INTRODUCERE

1. EVOLUȚIA GENERALĂ A CONSTRUCȚIILOR METALICE

Metalele au început să fie folosite la construcții pe o scară mai largă abia prin secolul al XVII-lea, adică mult mai târziu decât lemnul, piatra, cărămida. În vechime, oțelul (numit mult timp fier) se folosea rar și numai pentru unele peste altele. Prin evul mediu și prin epoca renașterii se întrebunța fier la tiranții bolților pentru a lua împingerea acestora sau ca inele la baza cupolelor de zidărie. Oțelul se producea în cantități mici, era scump și depărtate a unor piese de fier la construcții sau la poduri din lanțuri s-au găsit în China și India.

Prin secolul al XV-lea s-a descoperit calea de a se produce *fontă* în cuploarele înalte; din fontă s-au putut executa ușor elemente necesare construcțiilor.

Primele elemente metalice mai importante au apărut abia spre sfârșitul secolului al XVII-lea la acoperișurile construcțiilor civile și la poduri. Primul pod de fontă, cu deschiderea de 30 m, a fost construit în Anglia în anul 1776—1779 peste Severn la Coalbrookdale. Peste cinci ani, în 1784, s-au construit în Rusia podurile de fontă din parcul orașului Pușkin (fost Tarskoe Selo). Treptat podurile de fontă au căpătat o răspândire foarte largă.

Pe la 1784 s-a descoperit calea de a se obține oțel prin *puclare*; pudlarea a devenit un procedeu industrial, însă abia după anul 1800. Oțelul pudlat se putea îndoi, se putea înmădi la cald și din el se puteau confecționa bare lungi care rezistau bine la eforturi de întindere. Au început să se execute cupole mari din fontă, ferme cu barele com-primate din fontă și cele întinse din oțel pudlat. Dintre construcțiile din țările mai deosebite se pot cita fermele acoperișului teatrului Comediei franceze din Paris, cupola catedralei Isaak din Petersburg, fermele acoperișului palatului Alexandrovsk din Kremlin.

Podurile din fontă au atins pe la jumătatea secolului al XIX-lea o mare perfecțiune: un exemplu îl constituie podul Nikolaevsk din Petersburg, proiectat și construit de inginerul S.V. Kerbedz.

Revoluția industrială de la sfârșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea, care a dus la extinderea construcțiilor industriale, pre-pudlat, material mult mai indicat pentru construcții de clădiri și poduri decât fonta.

3. Legătura dintre înmă și tapă	227	2. Rezenarea directă a grinzilor	309
4. Stabilizarea elementelor înovo-late	231	3. Rezenarea grinzilor prin piese de reazen	312
5. Rigidizări	240	4. Reazeme cu articulații	314
6. Verificarea grinzilor la oboseală	245	5. Reazeme cu rolouri	317
7. Săgeata grinzilor înovoitate	246	6. Bazele stâlpiilor	319
XII. Elemente supuse la răsucire	249	XVIII. Elemente de construcții din profile cu pereți subțiri	327
1. Comportarea la răsucire	249	1. Ferme de profile cu pereți subțiri formate la rece	327
2. Determinarea eforturilor unitare	254	2. Ferme de profile cu pereți subțiri formate la rece	327
3. Flambaj cu răsucire	254	3. Flambajul local al pereților profilelor cu pereți subțiri	330
4. Alcătuirea și verificarea elementelor supuse la răsucire	261	4. Flambajul barelor cu pereți subțiri comprimate axial	332
XIII. Elemente supuse la compresune cu încovoiere	265	XIX. Calculul elementelor din profile cu pereți subțiri formate la rece	337
1. Alcătuirea secțiunii barelor	267	1. Elemente supuse la întindere axială	342
2. Comportarea elementelor supuse la compresune axială și la încovoiere	267	2. Elemente supuse la compresune axială care flambează prin încovoiere	342
3. Calculul elementelor comprimate și încovoiate	268	3. Elemente comprimate axial care flambează prin încovoiere-răsucire sau răsucire	342
XIV. Grinzi cu zăbrele	272	4. Elemente supuse la încovoiere	343
1. Ferme și alcătuire	276	5. Verificarea înălțimilor grinzilor încovoiate	343
2. Secțiunile barelor	276	6. Elemente supuse la compresune și încovoiere	346
3. Dimensionarea barelor	278	7. Înbinări	349
4. Săgeata grinzilor cu zăbrele	280		351
XV. Înădăirea barelor	281		
1. Reguli generale pentru înădăirea barelor	282		
2. Înădăirea plătbandelor	282		
3. Înădăirea comberelor și a altor laminate	283		
4. Înădăirea barelor supuse la încovoiere	286		
5. Înădăiri cu șuruburi de înaltă rezistență	288		
XVI. Prinderea barelor	292	XX. Probleme ale proiectării și execuției și realizarea unor construcții metalice sigure și economice	352
1. Nodurile grinzilor cu zăbrele	293	1. Introducere	352
2. Articulații	293	2. Conceptul ingineresc despre construcție sigură	353
3. Încreștări	301	3. Rolul proiectării	353
4. Ramificații	304	4. Rolul execuției și montajului	355
XVII. Reazeme	305	5. Exploatarea	357
1. Considerații generale	308		358
		Bibliografie	359

Progresul construcțiilor metalice era totuși împiedicat de slaba dezvoltare a industriei metalurgice, de lipsa unor elemente precise pentru calculul construcțiilor, de lipsa elementelor profilate și a mijloacelor de îmbinare corespunzătoare.

Din oțel pudlat se făceau plătbande încă din secolul al XVIII-lea; alte forme de bare prin laminare au început să se producă abia pe la 1820. Laminarea s-a dezvoltat destul de repede și apariția profililor laminare a ușurat dezvoltarea construcțiilor metalice.

Dezvoltarea construcțiilor metalice a fost mult ajutată de progresele pe care le-a făcut mecanica construcțiilor, începând de la 1824, când au fost puse bazele unor metode de calcul mai exacte.

Pe la 1830 a fost descoperită nituirea la cald, care a fost folosită pentru prima oară la construcția metalică a acoperișului șantierului naval de pe insula Galerii din Petersburg.

Folosirea oțelului pudlat s-a răspândit destul de repede.

Din oțel pudlat s-au executat construcții din ce în ce mai mari; formele construcțiilor din oțel încep să se deosebească de acelea ale construcțiilor anterioare din fontă, care adoptau forme specifice comportării la compresiune.

O construcție mare din oțel a fost executată în anul 1854, cu ocazia expoziției universale de la Londra (Palatul de Cristal). Această construcție are a 560 m lungime, 125 m lățime și 53 m înălțime, cu ferme de 22 m deschidere.

În gara din Liverpool s-au executat cam la aceeași dată ferme de 47 m deschidere.

Oțelul pudlat a căpătat o utilizare largă și la construirea podurilor de cale ferată.

Dintre podurile metalice mai importante se pot cita:

— Podul Britania peste golful Meney (canalul Mhenei) construit între anii 1846—1850, pentru cale ferată, cu mai multe deschideri, din care două de câte 140 m. Aici s-au făcut încercări pe modele.

— Podul peste Vistula la Dirschau cu șase deschideri a 131 m cu grinzi cu zăbrele combinate pe câte două deschideri, construit între anii 1847 și 1857.

— Podul peste râul Luga, pe calea ferată Petersburg—Vargovia, construit în anul 1853, cu grinzi cu zăbrele. La acest pod, inginerul rus Kerbedz a realizat pentru prima oară în mod corect construcția barei comprimate, dându-i o formă rigidă, corespunzătoare modului de comportare la compresie.

— Podul peste Volga la Sizrani, construit în anul 1879 cu grinzi cu zăbrele (fig. 1).

— Podul Firth of Forth în Scoția cu deschideri de 521 m, construit în anul 1890 și care a deținut pînă în 1918 recordul deschiderii.

În a doua jumătate a secolului al XIX-lea s-au descoperit procedee noi pentru fabricarea oțelului. În anul 1855 s-a descoperit procedeul Bessemer, în 1863 procedeul Martin, iar în 1878 procedeul Thomas, procedee

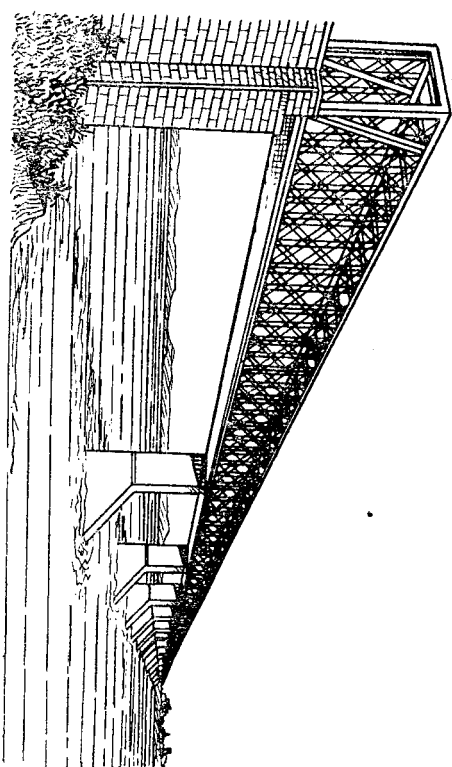


Fig. 1. Podul de la Sizrani peste Volga.

care au permis să se producă oțel de calitate mai bună, în cantități mari și la prețuri mai mici. Prin aceste procedee se obține din fontă, oțel în stare lichidă care apoi se toarnă în forme sau lingotiere. Oțelul astfel produs a înlocuit repede oțelul pudlat. În construcții a continuat totuși să se folosească oțelul pudlat, astfel că multe construcții și poduri executate după 1880 sînt construite cu oțel pudlat.

Cu ocazia expoziției universale din anul 1889 de la Paris (centenarul revoluției franceze) s-au făcut două construcții metalice mari: hala mașinilor cu o suprafață de 5 ha, cu ferme de 110 m deschidere și o înălțime de 47 m de la teren și Turnul Eiffel a cărui înălțime atinge 306 m.

Cam în aceeași vreme se executau în Rusia acoperișuri metalice autoportante cu dublă curbură (Uzina din Vîks) și acoperișuri cu sisteme în zăbrele suspendate (sala expoziției de la Nijni Novgorod din 1896).

Oțelul a început să capete utilizări din ce în ce mai largi și în alte ramuri: construcții de cazane, industria petrolieră etc.

Pe la 1880 a fost descoperit de inginerii ruși N.N. Benardos și N.G. Sivanov procedeul de îmbinare a elementelor de construcții metalice prin *sudură electrică*. Acest procedeu de îmbinare s-a dezvoltat treptat și astăzi constituie procedeul cel mai folosit, reducînd volumul de muncă și cantitatea de material intrată în operă față de construcțiile nituite.

Construcțiile de clădiri cu structură metalică au avut o evoluție lentă și destul de îndelungată, începînd din secolul al XIX-lea. La început s-a folosit metalul numai pentru construcția fermei acoperișului. Deschiderile erau în general mici, de ordinul a 10—20 m. După apariția și folosirea podurilor rulante în construcțiile industriale, care au avut loc pe la sfîrșitul

secolului al XIX-lea, construcțiile de hale au început să capete forme mai complexe. La început căile grinzilor podurilor rulantă erau așezate pe elemente nelegate de clădire, îndeosebi la interior.

Cadrul transversal metalic s-a dezvoltat abia pe la începutul secolului al XX-lea.

După anul 1900, construcțiile metalice capătă o extindere mare în toate domeniile; construcțiile metalice iau din ce în ce forme mai dezvoltate, mai corespunzătoare scopului în care sînt utilizate.

Dezvoltarea treptată a construcțiilor metalice și perfecționarea metodelor de calcul s-au putut realiza datorită născii neobosite și a dragostei pentru profesie a numeroși oameni de știință, ingineri, care și-au pus toate forțele și pricepera în slujba tehnicii și a progresului. De dezvoltarea și de progresul construcțiilor în general sînt legate nume ca: Winkler, Schwedler Gerber, Baker, Melan, Schaper etc.

Un rol însemnat în dezvoltarea formelor constructive l-au avut constructorii ruși, inginerii S.V. Kerbedz, N.A. Belitubski, L.D. Proskuriakov, F.S. Iasiniski, V.G. Suhov, I.P. Prokofiev, N.S. Streletski și alții.

În ultimul timp au luat o mare dezvoltare construcțiile metalice sudate. Sudura permite să se dea cu ușurință construcțiilor metalice forme foarte variate; reduce apoi simțitor consumul de metal și volumul de muncă. Sudarea este una dintre cele mai înaintate metode de îmbinare a metalelor.

Metodele de calcul s-au dezvoltat și au ajuns astăzi să permită interrelarea comportării construcției cu o bună exactitate; fenomenele cele mai complexe pot fi stăpînite și verificate prin calcule. Un progres important, care își are o largă aplicare în construcțiile metalice, s-a făcut în studiul comportării construcțiilor metalice în domeniul plastic. S-au făcut studii teoretice și experimentale în diferite țări și s-au clarificat numeroase probleme legate de modul cum lucrează construcțiile metalice după apariția deformațiilor plastice. De studii în domeniul plastic sînt legate între altele numele: Maier-Leibnitz, Fr. Bleich, F.J. Baker, R.M. Horne, Ch. Massonnet, A. Nadai, M.J. Duthell etc.

Progrese deosebit de importante privind metodele de calcul au fost obținute în U.R.S.S., unde s-a elaborat metoda de calcul la stările limită, care se aplică la calculul construcțiilor metalice încă din anul 1955.

Între savanții sovietici, care au contribuit la dezvoltarea și la perfecționarea metodelor noi de calcul, sînt cunoscuți numele prof. N.S. Streletski, A.R. Rianin, V.A. Baldin, E. I. Belemia, B. M. Broude, A. A. Gvozdev, A.D. Judin, V.S. Vlasov etc.

Formele la care au ajuns astăzi construcțiile metalice reprezintă un deosebit progres. Dacă mai înainte se căuta ca elementele de rezistență metalice să fie acoperite prin alte materiale, ori de cîte ori se urmărea un efect arhitectonic, astăzi din contră se folosesc elementele metalice ale construcțiilor pentru obținerea unor efecte arhitectonice. Se poate spune că în ultimul timp s-a creat o arhitectură a oțelului.

Evoluția tehnicii construcțiilor metalice a atins astăzi forma care permite să se construiască în metal respectînd principiile: frumusețe, eficiență și economie.

2. EVOLUȚIA CONSTRUCȚIILOR METALICE ÎN ȚARA NOASTRĂ

a. Construcțiile metalice pînă la naționalizare

Este probabil că și în țara noastră, unde extragerea și prelucrarea fierului s-au făcut din timpuri îndepărtate, s-au folosit de multă vreme piese metalice la unele construcții de zidărie sau în alte scopuri.

Starea înapoiată din punct de vedere industrial, în care se găsea țara făcută ca aceste construcții, construcțiile metalice, să apară destul de tîrziu. Se cunoaște că la Iași, pentru aducerea apei, s-au folosit pînă anul 1847 țevi metalice. Se știe de asemenea că în anul 1831 a fost construit un pod metalic în orașul Lugoj, fabricat la Reșița.

Este probabil că printre primele construcții metalice mai importante executate la noi a fost hala oțelăriei de la Reșița, construită cu ocazia instalării primelor convertizoare, adică pe la 1868.

În tratatul de poduri al prof. Croizette Desnoyers, tipărit în 1885 este menționat că înainte de anul 1866 s-a construit un pod metalic de șose peste Olt la Goran cu deschideri de 45 și 36,5 m de către o firmă franceză. Între anii 1870 și 1871 s-au executat la București două gazometre metalice cu o capacitate de 9 000 m³ pentru iluminatul cu gaz al capitale. S-au folosit țevi pentru transportul gazului și fclnare din fontă. Unele elemente metalice s-au folosit și la construcția Abatorului comunal din Bucaresti, construit în anul 1872. Pe la 1880 s-au executat, la construcția Uzinei de apă de la Grozăvești, ferme metalice. Proiectul acestei construcții a fost făcut de inginerul român Cucu, de la serviciul tehnic al Primăriei.

Pînă în anul 1880 s-au executat în țară și unele poduri, necesare șoselelor și căilor ferate care începuseră să se construiască. Pe linia ferată Timișoara-Lassenova—Baziaș, începută în 1857, se cunoaște un pod metalic construit peste Begea.

În anul 1865 a fost încredințată firmei Barkley și Staniforth, care executase în 1860 linia Cernavodă—Constanța, construirea a 19 poduri metalice pentru șoselele București—Iași și altele, dîndu-i-se ca garanție veniturile seinelor.

Tot acestor concesionari li s-a încredințat și construirea liniei ferate București—Giurgiu, terminată în anul 1869. Pe această linie s-au făcut începînd poduri de lemn, fiind înlocuite apoi cu poduri metalice. Cel mai mare dintre ele era podul peste Argeș. Podurile construite de această firmă aveau pîile puțin adînci și slabe și au fost luate, cele mai multe din ele, de primele viituri.

Pînă în anul 1880 au mai fost construite de firme străine prin concesionare și alte poduri metalice pe liniile ferate: București—Mărășești—Roman, București—Vrcoiova, Ileani—Roman, Ploiești—Predeal.

Deschiderile podurilor erau mici, sub 50 m, atîră de podul peste Siret la Bucecea cu lumina de 71 m. Acest pod, nu se știe pentru ce motive, a fost făcut pentru cale dublă, deși lina ferată era cu cale simplă.

Pe la 1872 s-au executat în București patru poduri metalice de șosea în are, peste râul Dimbovița, cu deschiderea de 20 m, din care unele se găsesse și astăzi pe albia reținută.

Lucrările de căi ferate și poduri executate de concesionari au constituit o tristă experiență și au costat fără foarte mult. Lucrările executate erau de calitate slabă și prețul lor era foarte mare. Cele mai multe dintre aceste lucrări au fost refăcute peste scurt timp.

Ingineri români nu erau primii la executarea acestor lucrări și nici la exploatarea lor.

În anul 1879 a fost însărcinat inginerul român Dumitru Frunză cu studiul și construcția liniei ferate Buzău—Mărășești.

„Frunză, tremurînd de ambiție, începuse studiile pe teren la 1 mai 1879, le termină, redactă proiectul și începu construcția liniei în același an, sfîrșind lucrările la 1 iunie 1881” scrie ing. Nic. Petculescu.

Această linie, inclusiv podurile metalice, executate ceva mai tîrziu, a costat numai 109 000 lei aur/km, față de 306 000-lei aur/km, cît au costat liniile făcute de concesionari.

Rezultatele tehnice și economice obținute la construcția acestei linii au atras încrederea întregii opinii publice din țară în capacitatea tehnică a inginerilor români și au dus la încheierea aproape completă a proiectării, execuției și exploatării prin sistemul de concesionare.

În anul 1881 s-au înființat trei direcții generale de studii, proiectare și construcții, sub conducerea inginerilor români Spiridon Yoreanu, Dumitru Frunză și Petre Ene. În direcția generală condusă de Petre Ene au fost numiți directori inginerii Anghel Saligny și Elihe Radu, care au devenit doi din cei mai buni ingineri constructori ai epocii ce a urmat. După studiile inginerilor din aceste servicii s-au executat docurile din Brăila și Galați, la care s-au folosit și structuri metalice.

Pe la 1884 s-au executat în București și în alte orașe construcții pentru manaje din zidărie portantă, cu acoperișuri susținute pe ferme, avînd arhitecturii din lemn, montanji din fontă și barele incluse din oțel rotund.

O lucrare interesantă, executată din toamna anului 1886 pînă în primăvara anului 1887, a fost tunelul de fontă din Valea Mostiștei de pe lina București—Fetești. Pentru scurgerea apelor din această vale, închisă cu un rambleu de circa 22 m înălțime, se executase mai întâi un podet boltit de 4 m deschidere. Din cauza terenului mocturos s-au ivit în scurt timp crăpături și deplasări care au deteriorat podetul. Acesta a fost înlocuit cu un tub de fontă circular, de 3 m diametru și lung de 57 m, alcătuit din inele de 0,759 m lungime, fiecare inel avînd cinci segmenti.

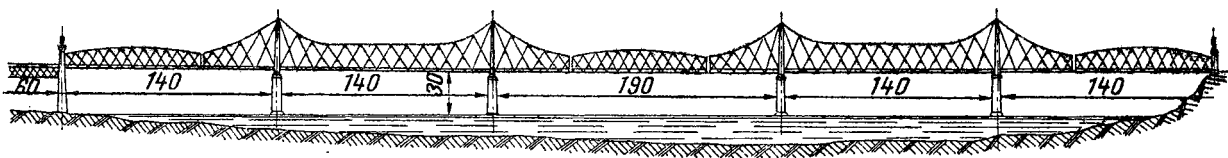


Fig. 2. Podul peste Dunăre la Cernavodă.

Hala de peste din București și hala din strada Berzei (îngă Calea Griviței) cu schelet metalic, au fost executate în anul 1888.

Pentru Ateneul Român, cu puțin timp înainte de anul 1889, s-a executat o cupolă metalică cu diametrul de circa 29 m.

În regiunea petroliferă Glodeni existau în anul 1891 o conductă metalică de 9 km lungime și un rezervor metalic de 5 000 m³ capacitate.

După proiectul întocmit de ing. Elihe Radu s-a executat pe la 1893 construcția castelului de apă din Brăila. Castelul avea un rezervor metalic de 2 000 m³ capacitate cu diametrul de 16,60 m. Partea superioară a castelului era închisă cu o cupolă metalică.

În decembrie 1894 a fost dată în circulație prima linie electrică de tramvai, care circula pe actualele bulevarde Gh. Gheorghiu-Dej și Republicii.

Este probabil că depoul și uzina electrică de la Grozăvești, care deserveau această linie și care aveau ferme metalice, au fost construite cu această ocazie.

În anul 1897 au fost începute la Iași atelierele căilor ferate, care aveau ferme și stâlpi metalici.

Activitatea inginerilor români în perioada după 1880 a fost desăvîrșită în special pentru construirea podurilor metalice noi și pentru înlocuirea celor distruse sau necorespunzătoare, rămase de la concesionari.

Primele poduri metalice proiectate și executate de inginerii români sînt cele de peste Prabhova și Doftana, pe lina Cimpina-Doftana, sub conducerea lui Elihe Radu, și podurile de pe lina Adjujd—Tirgu Ocna, sub conducerea lui Anghel Saligny.

În anul 1883 s-a înființat un serviciu de poduri pentru liniile ferate sub conducerea lui Anghel Saligny. Una din lucrările de poduri mai importante executate în trecut în țara noastră a fost podul peste Dunăre la Cernavodă (fig. 2).

După ce s-au ținut cîteva concursuri cu rezultate nesatisfăcătoare, la care au participat firme străine, a fost însărcinat în anul 1887 Anghel Saligny cu proiectarea acestui pod. Proiectele au fost întocmite de inginerii români sub conducerea lui Anghel Saligny. Pentru acest pod Anghel Saligny a prevăzut să se folosească oțel turnat și nu pudlat, cum prevedeau firmele care luaseră parte la concurs.

La acea dată, această problemă era mult discutată și constructorii de poduri nu aveau încă încredere în oțelul turnat (oțel Martin). Anghel Saligny l-a con-

sultat în această privință și pe cunoscutul constructor rus de poduri Belehbski, care a susținut superioritatea oțelului turnat față de oțelul pudlat și care de altfel introdusese acest oțel în construcția podurilor încă din anul 1885.

Podurile metalice au fost fabricate de firme străine după proiectele elaborate de serviciul liniei Fetești—Cernavodă, care își lua întreaga responsabilitate a calculului și a dispozitivelor adoptate.

Lucrările podului peste Dunăre au fost terminate în toamna anului 1895. La acea dată era podul cel mai lung pentru trecerea unui fluviu și avea deschiderea cea mai mare din Europa. Linia ferată București—Constanța trece lunca Dunării pe o distanță de 15 km. Dunărea se împarte aici în două: Dunărea propriu-zisă și Boreea, închizând între ele o baltă.

Podul principal peste Dunăre are o deschidere centrală de 190 m și cîte două deschideri laterale de 140 m. La capătul dinspre baltă se prelungeste cu un viaduct cu 15 deschideri de cîte 60 m. Podul peste Boreea are trei deschideri a 140 m, prelungindu-se cu viaducte cu cîte 3 și 8 deschideri a 50 m.

În baltă, pentru scurgerea apelor, s-a construit un viaduct cu 34 deschideri a 42 m.

Lungimea totală a podurilor și viaductelor este de 4 088 m.

După anul 1900, datorită crizei economice care s-a dezlănțuit și în țara noastră, ritmul construcțiilor a scăzut. S-au executat unele lucrări de construcții metalice pentru produse petroliere (rezervoare, conducte).

În anul 1908 s-a început construirea funicularului Bușteni—Brănei pentru fabrica de hirtie din Bușteni. La acest funicular, lung de 15 km, s-au executat 207 stâlpi, din care mulți din oțel.

Între anii 1900 și 1909 s-au executat lucrări mari în metal la portul Constanța: estacada metalică de 570 m lungime de-a lungul cheiului silozurilor, uzinată la șantiierul naval din Turnu Severin, și rezervoarele metalice din portul de petrol.

S-au mai executat construcții metalice la halele pescăriilor din Galați (1911—1915), depoul de tramvaie din șoseaua Ștefan cel Mare din București (1910—1911), centrala electrică din Pitești (1912—1913).

Linia de transport de energie electrică Chimpina—București s-a executat în anul 1924 cu stâlpi metalici.

Halele fabricii Progresul din Brăila (fosta societate Franco-Română) au fost executate în anii 1926—1927. Cam în același timp au fost executate și halele Uzinelor 23 August din București.

În anii 1926—1928 s-au executat construcții metalice mari în București pentru atelierele căilor ferate.

Între anii 1930 și 1938 s-au executat în București trei clădiri înalte cu schelet metalic, prin mijloace de îmbinare diferite: clădirea Telefonelor din Calea Victoriei (mărită), clădirea Adriatica (butonată) și Palatul Căilor Ferate din Bul. Dincu Golescu (sudat).

La garașele din str. Vasile Lascăr (azi str. Galați), București, s-a executat în anul 1936 o construcție cu stâlpi și ferme metalice complet sudate. Tot în intervalul dintre anii 1930 și 1938 s-au executat pentru a mai multe hangare metalice cu deschiderea de aproximativ 40 m.

Între anii 1937 și 1944 a fost executat scheletul metalic al halelor din București, construcție complet sudată.

Halele metalice ale oțelăriei și laminatoarelor de la Hunedoara s-au executat între anii 1937 și 1940.

După anul 1919, industriile metalurgice din țară erau în măsură să pene nevoile interne de atunci de construcții metalice, poduri metalice zervoare.

Crizele economice din anii 1929—1933 și 1937—1938 au creat mari gătăi industriilor din țară. La terminarea războiului, în 1944, industria țară era mult slăbită.

Pe de altă parte, prin modul cum s-au dezvoltat în decursul timpului fabricile erau înzestrate cu utilaje foarte diferite, vechi și necorespunzător unei producții mari și ieftine.

Proiectele construcțiilor metalice se întocneau numai în birourile tehnicale ale unor instituții mari: Căile Ferate, Uzinele Reșița, Societatea tramvai din București; multe din proiectele construcțiilor metalice, necesare uzinelor particulare, erau furnizate de uzinele din străinătate. Cu toate că volumul construcțiilor metalice executate era mic, în țara noastră a existat tot o preocupare tehnico-științifică pentru studiul construcțiilor metalice. S-a publicat prescripțiile oficiale din alte țări pentru poduri metalice și o serie de articole și lucrări de construcții metalice.

Preocupările și studiile valoroase din trecut aparțin în special inițiativelor personale, sînt rezultatul interesului și al dragostei pentru știință și tehnologie a unor profesori și ingineri. De dezvoltarea construcțiilor metalice și a studiului lor în țara noastră sînt legate numele inginerilor: Anghel Saligru, I. Radu, Ion Băulescu, Ion Ionescu, Gh. Ern. Filipescu, Victor Bruner.

b. Construcțiile metalice după naționalizare

Dezvoltarea și reconstruirea uzinelor existente și construirea altor uzine noi, prevăzute în programul de relacere și dezvoltare a economiei țării din instaurarea regimului de democrație populară și după socializarea principalelor mijloace de producție, au pus numeroase probleme și în domeniul construcțiilor metalice.

S-au înființat institute de proiectare, învățămîntul superior tehnic reorganizat și s-a dezvoltat pe baze noi și s-a organizat cercetarea științifică, s-au creat întreprinderi specializate pentru executarea lucrărilor.

În intervalul de timp de la 1948 și pînă astăzi, s-au realizat programe mari: formele constructive s-au perfecționat și s-au simplificat; datorită proiectării raționale graunțarea construcțiilor metalice s-a mășorât conținutul. Pentru unele construcții metalice sau pentru unele elemente cu o folos

mai largă s-a trecut la proiectarea unor soluții tip, cu parametri foarte economici. Execuția și montajul construcțiilor metalice, încredințate unor întreprinderi specializate, s-au îmbunătățit, iar volumul de muncă și timpul de execuție și montaj s-au redus.

Progrese calitative s-au realizat și în domeniul producerii oțelurilor și a laminatelor. Industria siderurgică a trecut la fabricarea oțelurilor carbon calmate și semicalmate și, datorită metodelor de elaborare mai îngrijite, s-a ridicat limita de curgere minimă a oțelurilor marca OL 37 de la 2.200 daN/cm² la 2.400 daN/cm². S-a pus la punct fabricarea oțelurilor slab aliate pentru construcții, cum sînt oțelurile marca OL 44 și OL 52, cu o limită de curgere mai ridicată. S-au introdus condiții de livrare mai complete care să asigure calitatea necesară oțelurilor destinate construcțiilor sudate.

În țară se fabrică astăzi materiale pentru sudare de calitate superioară, care satisfac condițiile cerute pentru construcțiile cele mai greu solicitate. S-a trecut la fabricarea șuruburilor de înaltă rezistență, a căror folosire permite realizarea unor îmbinări de montaj de înaltă calitate, care se execută cu multă ușurință.

Preocupările științifice și de cercetare au luat o extindere din ce în ce mai mare, contribuind la introducerea în practica construcțiilor metalice a celor mai noi cucceri ale științei și tehnicii.

Studiul și cercetările se fac în instituțiile de învățămînt superior, în institutele de cercetare și la unele uzine pentru executarea construcțiilor metalice, care aduc contribuții importante la rezolvarea a o serie de probleme noi. Formele constructive raționale și economice ale structurilor halelor metalice au făcut obiectul unor studii și realizări la Catedra de construcții metalice de la Institutul de construcții din București și la instituturile de proiectare IPPROMET, I.P.L., etc.

Activitatea științifică și de cercetare a cadrelor didactice de la Catedrele de construcții metalice din București, Timișoara, Iași, Cluj a cuprins probleme variate din domeniul construcțiilor metalice, contribuind conștient, atât la ridicarea nivelului învățămîntului tehnic superior, cît și la rezolvarea unor probleme legale de nevoile producției.

O contribuție însemnată la dezvoltarea și perfecționarea construcțiilor metalice o au instituțiile de proiectare: IPPROMET, I.P.L., IPRAN, IPROCHIM, I.P.C.M. și altele, care în scurt timp au reușit să-și însușească metodele cele mai noi de lucru, au studiat și au găsit soluții din ce în ce mai bune din punct de vedere tehnico-economic.

O serie de departamente și instituții superioare de stat au trecut la măsuri care să ajute proiectarea și executarea construcțiilor metalice să se ridice la nivelul tehnicii actuale.

În instituțiile de învățămînt superior, în instituturile de cercetări și în unele institute de proiectare se organizează periodic sesiuni științifice, la care se prezintă și se discută problemele legate de calculul și execuția lucrărilor de construcții, de materialele de construcție, de tehnologia execuției etc.; dintre acestea nu lipsesc problemele privind construcțiile metalice.

După sfîrșitul celui de-al doilea război mondial, și îndeosebi după anul 1948, a început în țara noastră o vastă campanie de construcții. Activitatea de construcții s-a dezvoltat continuu în decursul cincinalurilor și într-un ritm rapid; nivelul calitativ al lucrărilor s-a ridicat treptat în ceea ce privește concepția și execuția.

În cele ce urmează se vor da o serie de exemple de construcții metalice mai importante, realizate după anul 1948, în măsura necesară pentru a se scoate în evidență evoluția construcțiilor metalice în țara noastră; unele din aceste exemple se referă la dezvoltări și reamenajări de uzine existente, altele la construcții de noi uzine.

Pentru *Uzinele Reșița* s-au proiectat și executat numeroase lucrări, din care se menționează:

— hala pentru centrala termică, cu cadre metalice, proiectată, uzinată și montată numai în șapte luni;
— hala cuploarelor adinei, hala turnătoriei de la Mociur, construcții pentru furnale noi, de mare capacitate, construcția instalațiilor de aglomerare și altele;

— hala vechei oțelării Martin, devenită insuficientă, a fost refăcută pe același amplasament, fără întreruperea funcționării oțelării. O clădire nouă a înlocuit vechea hală, care a fost apoi demontată; demolarea s-a făcut cu o scurcă întrerupere în care timp s-au revizuit și refăcut și cuploarele oțelării (fig. 3 și fig. 4). Construcția a fost terminată în anul 1958.

O altă construcție, deosebit de interesantă, este podul de traversare a orașului pentru funicularul dintre valea Domnului și fabrica de aglomerare

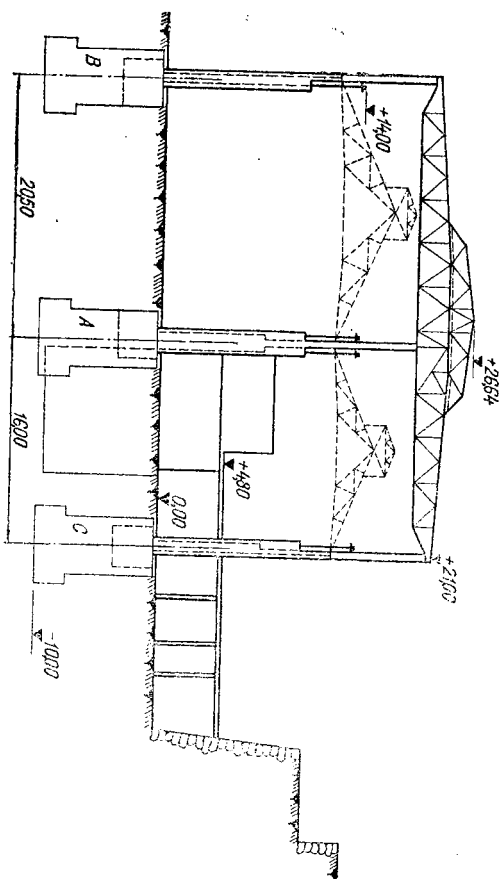


Fig. 3. Hala nouă a oțelării de la Reșița.

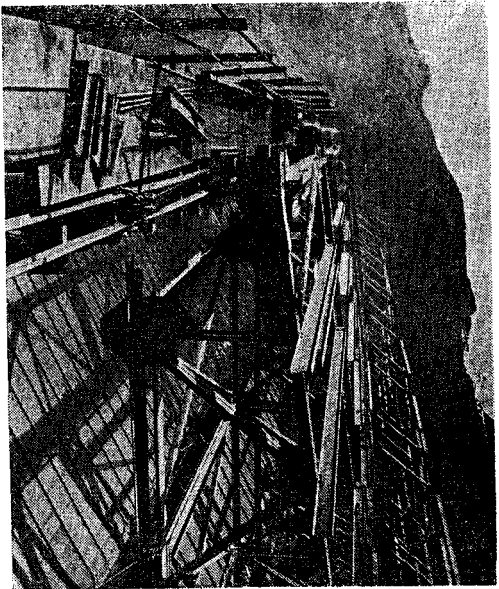


Fig. 4. Hala nouă a oțelăriei de la Reșița. Vedere în timpul montajului.

a minierului de la Mociur, care transportă caldar. Traversarea se face peste oras, cu un pod de circa 500 m lungime, la o înălțime de 35 m deasupra orașului. Construcția s-a executat în anul 1964 și constă dintr-o grindă metalică cheson continuă, care susține cele două căi ale funicularului; grinda cheson este așezată pe stâlpi metalici. Sub grinda cheson este prevăzută o plasă de protecție, susținută de cabluri pre-tensionate (fig. 5 și 6).

Pentru *Combinatul siderurgic Hunedoara*, a cărui dezvoltare a început încă din anul 1949, s-au proiectat și executat numeroase construcții metalice. Astfel se pot cita:

Construcția metalică a furnalului de 450 m³ capacitate, prima construcție metalică de acest fel complet sudată, realizată după proiecte întocmite în țară. Au urmat la diferite intervale construcțiile furnalului de 750 m³, 1 000 m³ și 1 500 m³, cu toate anexele lor: hala de turnare, estacade și bunecare pentru cocs și minereu, conducte de gaz cu galerii de susținere și atele.

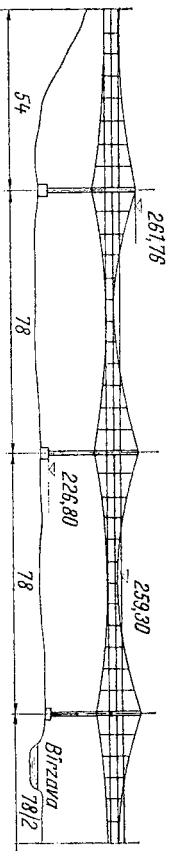


Fig. 5. Traversare funicular peste orașul Reșița.

Pentru instalațiile de aglomerare a minierului s-a proiectat și executat o construcție cu etaje cu structură metalică (fig. 7); ulterior s-a executat o nouă construcție pentru aglomerarea minierului. În zona fabricii de aglomerare și a furnalului de 450 m³ s-a proiectat și executat un depozit de minereu prevăzută cu o macara portal metalică (fig. 8). Harele oțelăriei Martin s-au extins în mai multe etape.

Treptat, combinatul s-a dezvoltat și extins realizându-se noi construcții pentru furnale; o dezvoltare mare a avut-o sectorul de laminare, construitele hale pentru un nou bluming, pentru laminare de profile mari și mijlocii, pentru șirna și atele (fig. 9).

În anul 1961 au început lucrările de construcție a marelui *Combinat siderurgic de la Galați*. La acest combinat s-au executat numeroase și importante construcții metalice, din care se menționează:

- hala atelierului de întreținere, compusă din două corpuri, unul cu șapte deschideri, rețeaua stâlpiilor fiind de 24 × 12 m și al doilea, dispus transversal față de primul, cu o deschidere de 24 m. Îmbinările de montaj la șanț s-au executat cu șuruburi de înaltă rezistență (fig. 10);
- hala laminării de tablă groasă, cu o suprafață totală de circa 110 000 m², executată pe un teren macroporic, sensibil la inunziere; s-au înălțat aici și la alte construcții de la Galați, măsuri constructive pentru reducerea efectelor tasărilor diferențiate (fig. 11);

- hala turnătoriei mixte cu cinci deschideri, rețeaua stâlpiilor fiind de 24 × 12 m (fig. 12);

- hala oțelăriei, prevăzută cu convertizoare cu snlare de oxigen; în zona convertizoarelor construcția are o înălțime de 54 m, cu unele părți etajate (fig. 13). S-a folosit aici într-o mare măsură oțel slab aliat marca OL 52;

- construcții pentru furnale de 1 700 m³ capacitate, cu anexele corespunzătoare;

- halele pentru laminorul slebing, cu traveea de 18 și 15 m; în fig. 14 este prezentată o secțiune prin hala cuploarelor adinci.

S-au mai executat o construcție cu schelet metalic pentru aglomerarea minierului, lungi trasee de conducte de gaz, galerii pentru susținerea ferielor conducte etc.

La *Uzina de țevi de la Roman* s-a executat de asemenea o serie de construcții metalice interesante; între acestea este hala laminorului (fig. 15). La aceasta construcție pentru grinziile cu zăbrele continue ce susțin șarpanta

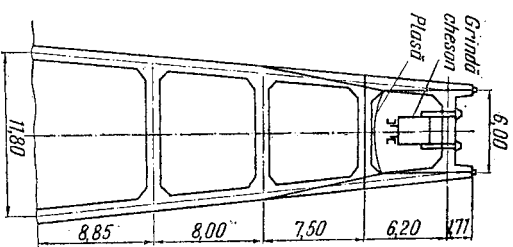


Fig. 6. Traversare funicular peste orașul Reșița. Sufli de susținere.

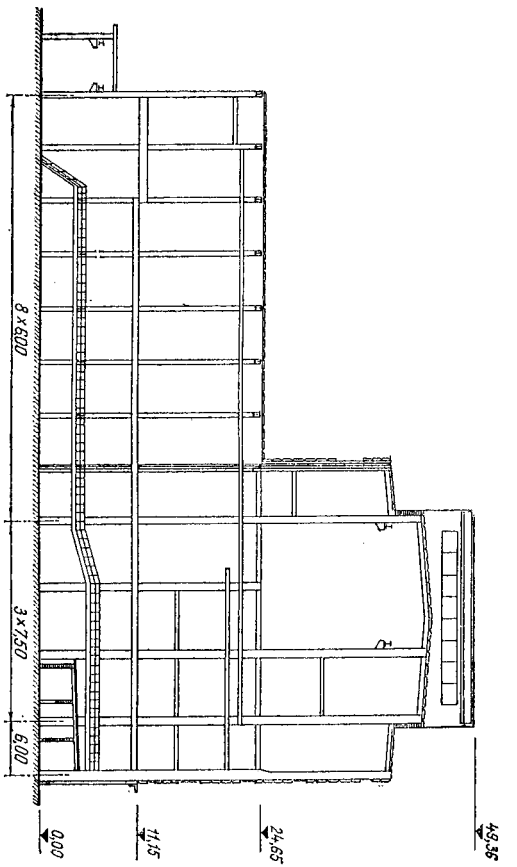


Fig. 7. Construcția fabricii de aglomerare de la Combinatul siderurgic Hunedoara.

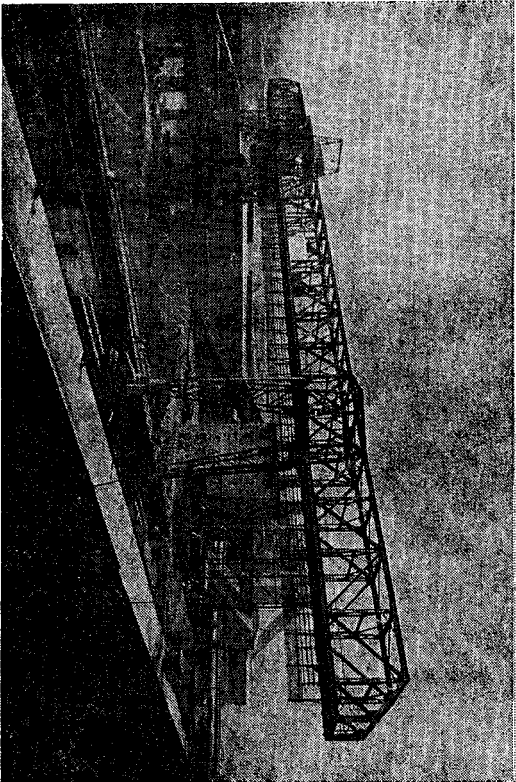


Fig. 8. Macara portală la Hunedoara.

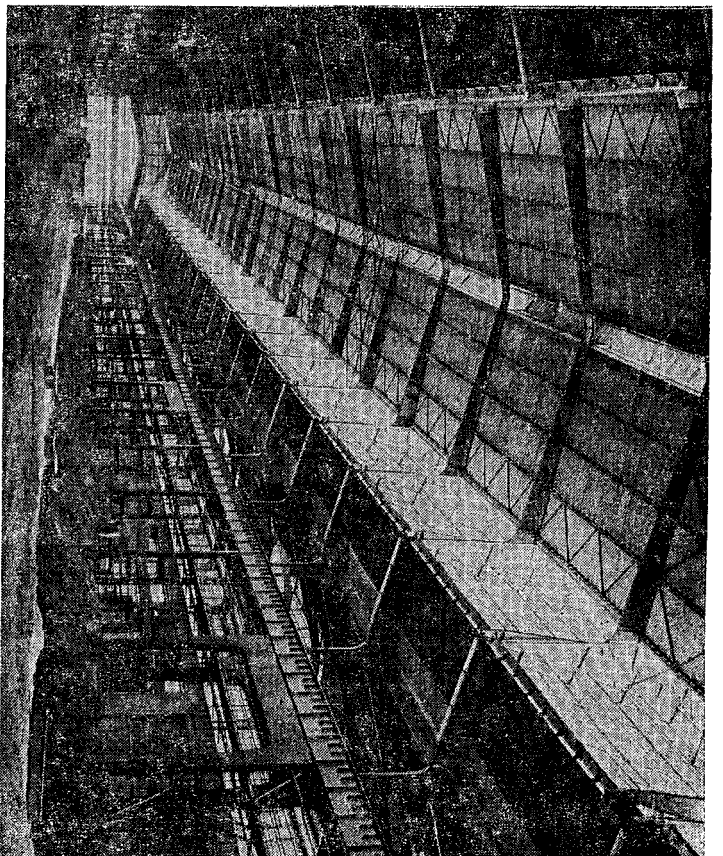


Fig. 9. Hala laminonului de șină de la Hunedoara. Vedere în timpul montajului.

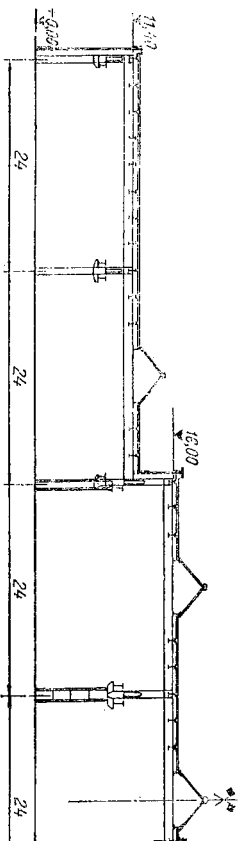


Fig. 10. Hala atelamentului de întreținere Galați.

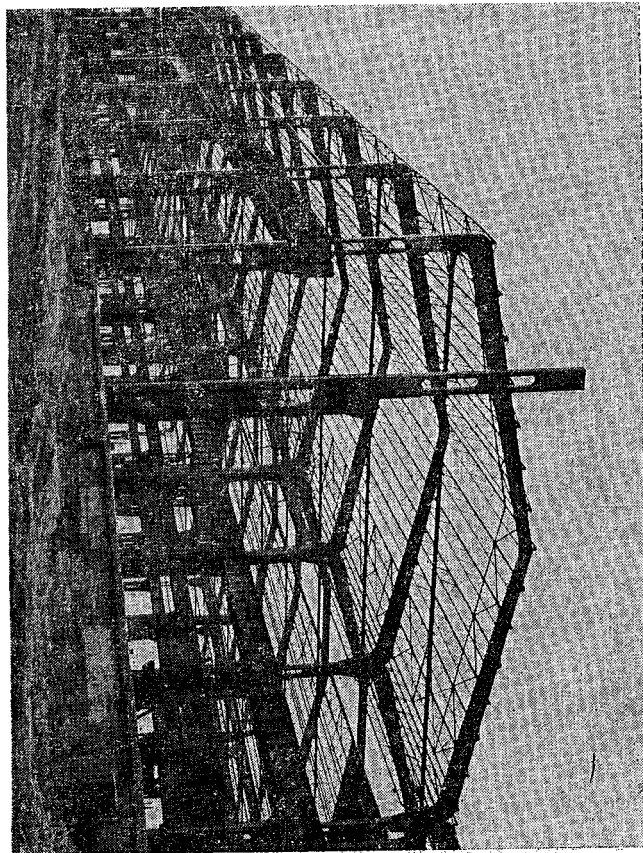


Fig. 11. Hala laminării de tablă grosă de la Galați. Vedere în timpul montajului.

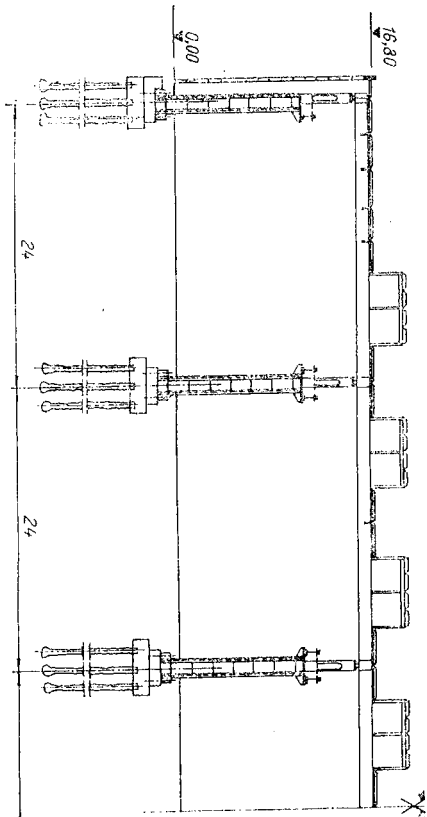


Fig. 12. Hala turnătoriei mixte de la Galați

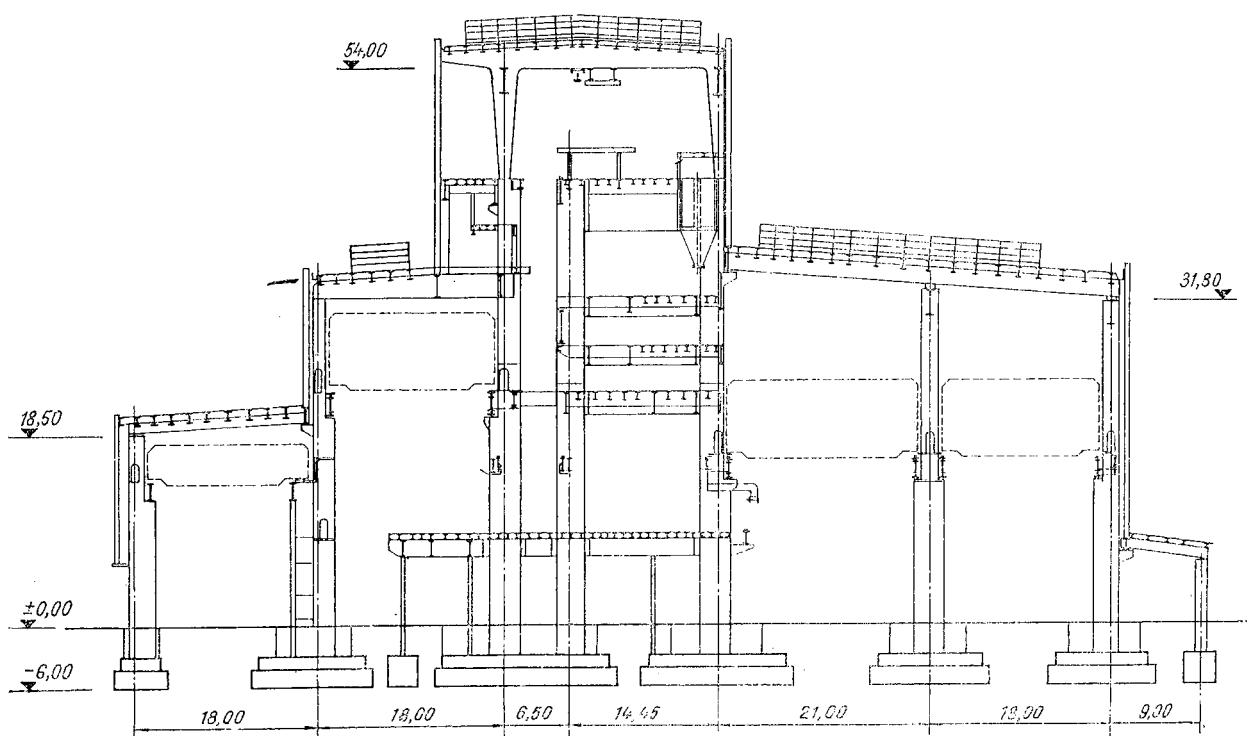


Fig. 13. Secțiune transversală prin hala oțelăriei de la Galați, zona convertizoarelor.

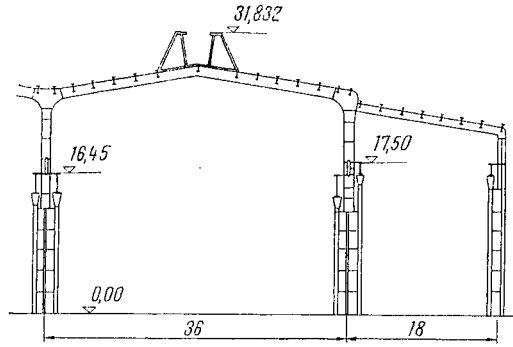


Fig. 14. Hala cuptoarelor adinci de la laminorul slebing Galați.

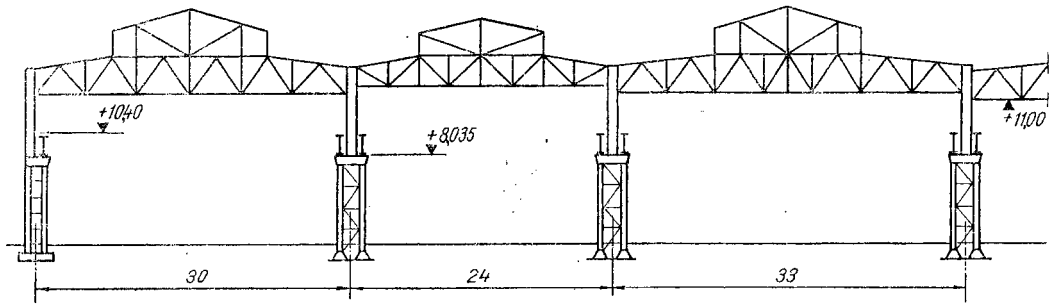


Fig. 15. Hala laminorului de la Roman.

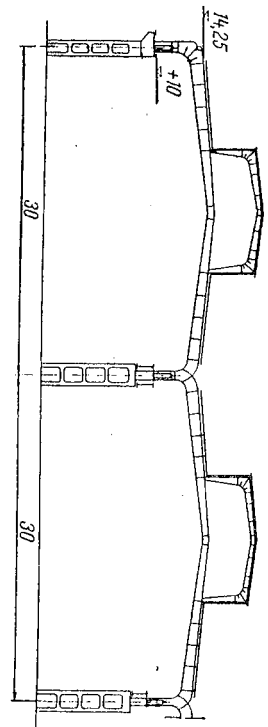


Fig. 16. Hala de mecanică grea de la Fabrica de mașini-unelte și agregate din București.

acoperișului cu ferme la 6 m interval, s-a admis corectarea diagramei de momente pe baza coeficienților de siguranță variati.

În orașul Brașov s-au executat de asemenea unele construcții metalice, între care hala turnătoriei și hala secției de montaj a Uzinei de autocamioane.

Alte construcții metalice importante au fost executate la Uzina „Tractorul”. În București au fost executate de asemenea numeroase construcții metalice mari cu ocazia dezvoltării uzinelor existente și creării unor uzine noi.

La Fabrica de mașini-unelte și agregate, nou construită, s-au executat câteva hale cu structură metalică. În fig. 16 este arătată secțiunea transversală a hălei de mecanică grea.

Hala de fabricație a Uzinei de anvelope „Danubiana”, în suprafață de aproximativ 30 000 m², are șarpanta acoperișului din metal și stâlpii de beton armat prefabricați (fig. 17). Șarpanta acoperișului susține un sistem complex de linii de transport. Hala are reșeaua de stâlpi de 12 × 18 m.

Hale cu structură complet metalică s-au executat și la Fabrica de băi și radiatoare.

Pe platforma industrială de la Bercești—București s-au construit numeroase hale industriale grele cu structură metalică. (Uzina de mașini grele, Uzina mecanică de utilaj chimic și altele).

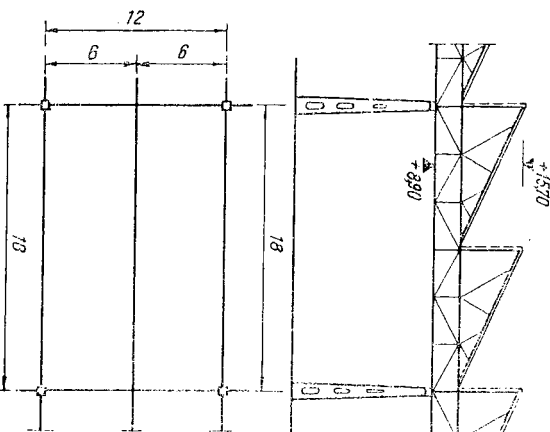


Fig. 17. Hala Uzinei de anvelope „Danubiana”.

La Fabrica de sticlă de la Vitan, sala cuprătorului are șarpanta metalică. În București, soluții interesante s-au aplicat la multe alte construcții de hale industriale, la construcții sociale, fie integral în metal, fie în sistem mixt, metal-beton, ca de exemplu la Fabrica pentru stâlpi centritogași de la Titan, la halele unor centrale termice, la acoperșul Sălii Palatului Republicii, la Pavilionul expoziției economiei naționale și altele.

Construcții metalice deosebite s-au executat la Iași, pentru Fabrica de țevi și profile subțiri (fig. 18), la *Buzău* pentru Uzina de sîrmă și produse din sîrmă (fig. 19).

La aceste construcții îmbinările de montaj la șantier au fost făcute cu șuruburi de înaltă rezistență.

O serie de construcții metalice de mari proporții au fost executate pentru Centrala termo-electrică de la *Rovinari*. Structura acestor construcții, cu grinzi și o parte din stâlpi metalici, are o înălțime de 92 m și susține cazane suspendate de planșeu superior.

Printre alte lucrări de construcții metalice executate la diferite uzine mai pot fi citate: fermele metalice de la Fabrica de celuloză și hirtie din *Suceava*, structurile șarpantelor de la Uzina de aluminiu *Statina*, șarpanta acoperșului halelor de la Fabrica de frigidere din *Gănești*, construcția Stației de conexiuni de la *Galati*, unele hale la Uzina Electroputere *Cratova*, construcții pentru depozite de îngreșăminte (fig. 20), rezervoare sferice de presiune și turnuri pentru prize de aer în industria chimică, turnuri pentru

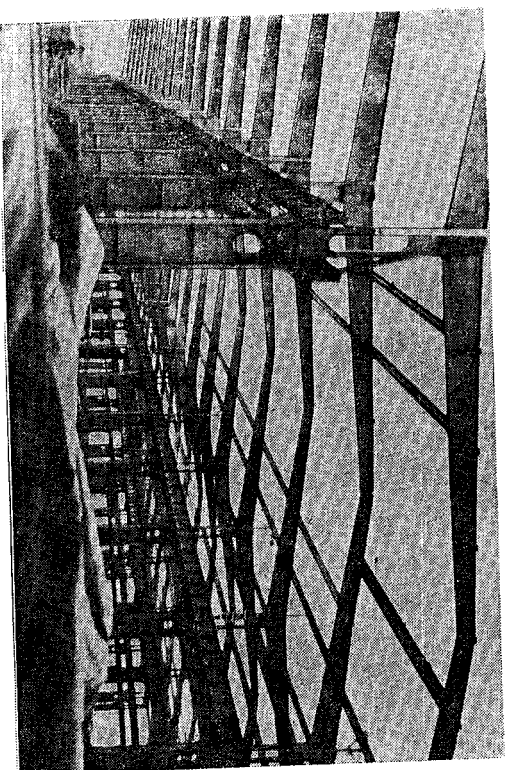


Fig. 18. Hală la Uzinele metalurgice Iași. Vedere în timpul montajului.

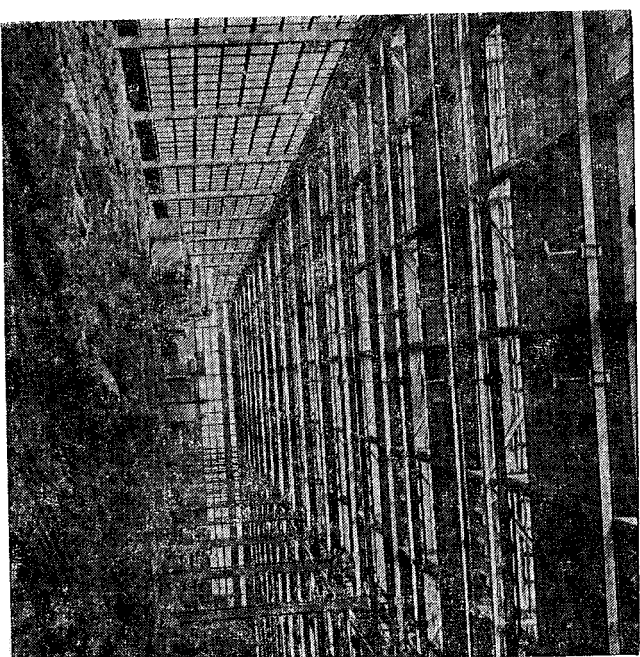


Fig. 19. Hală Uzinei de sîrmă și produse de sîrmă Buzău.

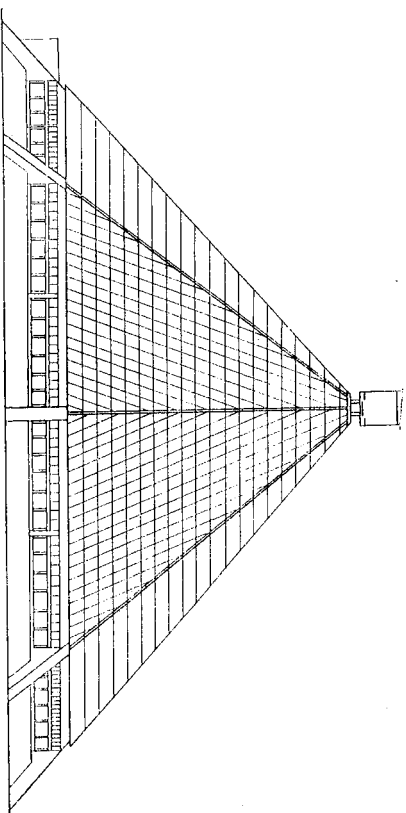


Fig. 20. Construcția unui depozit de îngreșăminte.

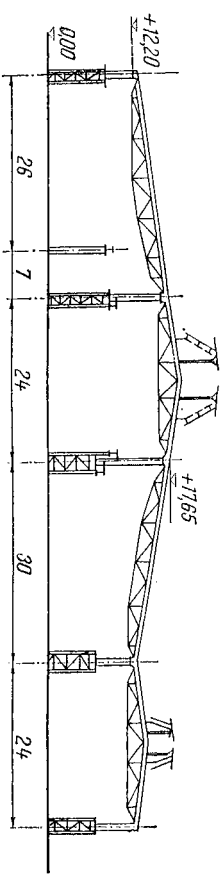


Fig. 21. Hala oțelăriei electrice Tirgoviste.

televiziune, stâlpi pentru linii de transport de energie electrică și multe altele. O soluție interesantă a fost aplicată pentru șarpanta metalică a acoperișului Sălii sporturilor de la Cluj.

În ultimii ani a început execuția unor noi uzine siderurgice la Tirgoviste. Dintre halele metalice executate la acest combinat se pot cita: hala oțelăriei electrice cu o suprafață de 12 830 m², din OL 37 și OL 52 (fig. 21), și hala oțelăriei cu convertizoare.

O altă construcție interesantă este clădirea monobloc de la Uzina de sodă Govora, care cuprinde patru secții cu etaje; numărul nivelurilor, după secția respectivă, variază între 2 și 13 (fig. 22).

Progresele realizate în domeniul proiectării și al execuției și dezvoltarea industriei din țara noastră permit astăzi să se exporte proiecte, elemente de construcții uzinate și să se preia și montațiul unora din aceste lucrări.

Dintre lucrările proiectate, uzinate sau pentru care s-a dat asistența tehnică sau s-a făcut și montațiul, se pot cita: o hală de cire în Republica Populară

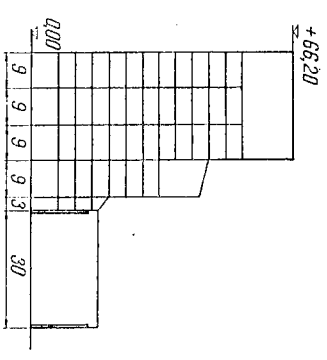


Fig. 22. Construcția Uzinei de sodă de la Govora.

Mongolă cu structura complet metalică, proiectată și uzinată în țară (fig. 23); construcția Uzinei de sodă de la Alexandria din Republica Arabă Unită (fig. 24), compusă din două aripi în L; construcția este cu etaj, a fost uzinată la noi în țară și montată în R.A.U. cu asistență tehnică din partea română; Uzina de sodă Shiraz din Iran, cu o structură asemănătoare celei din R.A.U.; hala de prăjire pîntă de la Samsun din Turcia; construcția are mai multe niveluri (fig. 25).

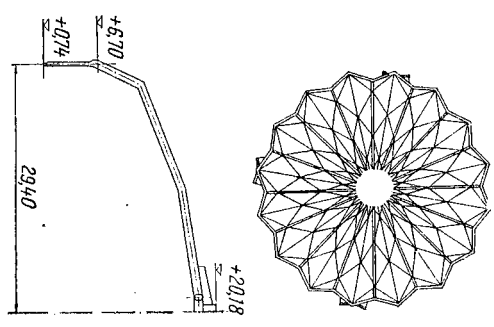


Fig. 23. Hală pentru cire în Republica Populară Mongolă.

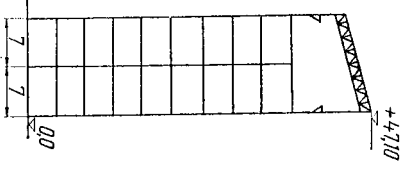


Fig. 24. Construcția uzinei de sodă de la Alexandria (Egipt).

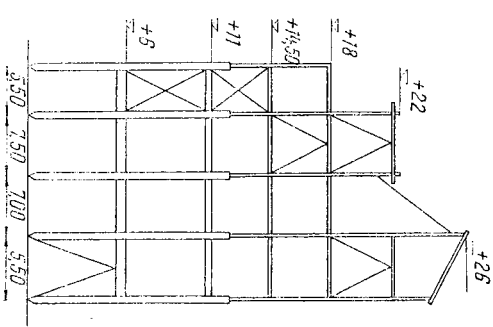


Fig. 25. Hală de prăjire pîntă de la Samsun (Turcia).

1. MATERIALE ȘI CARACTERISTICILE LOR

FONTA

1. FONTA

a. Fabricarea

Fonta, ca și oțelul, este un aliaj al fierului cu carbonul; alte elemente ca siliciu, mangan, fosfor, sulf etc., se găsesc în fontă în proporții diferite, reduse, și au o influență atît asupra structurii, cît și asupra calităților mecanice. Fonta conține peste 1,7% carbon, de obicei peste 2%; fontele speciale pot ajunge la un conținut de carbon pînă la maximum 6,67%.

Materia primă pentru fabricarea fontei o constituie minereurile de fier. Minereurile conțin partea utilă, în care fierul se găsește în general sub formă de oxizi, și o parte formată din diferite amestecuri de oxizi, roci, formînd ceea ce se numește stérilul. Minereurile de fier cele mai utilizate sînt cele care conțin fierul sub următoarele forme de oxizi: magnetita (Fe_3O_4) de culoare neagră, cu un conținut mare de fier, pînă la 75%; hematita (Fe_2O_3), care conține pînă la 65% Fe și are o culoare roșie; limonita ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), cu un conținut de fier pînă la 60%; este un mineral care conține oxizi de fier hidratați; siderita ($FeCO_3$), care conține carbonat de fier, conținutul în fier putînd ajunge pînă la 40%.

Drept conținutul în fier, minereurile se clasifică în minereuri bogate, cînd conțin peste 45% fier, și sărace cu un conținut sub 45%. Calitățile bune trebuie să conțină cît mai puține elemente dăunătoare. Elementele cele mai dăunătoare sînt sulful, fosforul și arsenul, dacă depășesc anumite limite.

Prin sortare și prin prepararea minereurilor aceste elemente se pot înlătura parțial. Fonta se fabrică în cuptoare înalte, numite *furnale* (fig. 11) care au funcționare continuă; pentru fabricare se folosesc minereuri de fier, combustibili și fondanți.

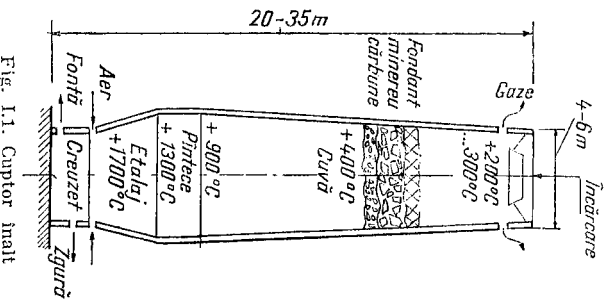


Fig. 11. Cuptor înalt

Minereurile de fier se introduc în furnal în stare naturală, cînd sînt bogate în fier și au impurități în cantități mici. Astăzi există tendința de a se introduce în furnale minereuri pregătite în prealabil, în scopul de a ușura topirea și a reduce consumul de combustibil. Prin preparare se elimină și unele din impurități.

Combustibilul folosit în fabricarea fontei este cocsul, care se obține prin distilarea cărbunilor minerali. Cocsul produce căldura necesară reducerii oxizilor de fier, cum și pentru topirea minereurilor și a fondanților.

Fondanții se adaugă în furnal pentru a înlesni transformarea în zgură a rocilor din minereuri și a cenușii rezultată din ardere, cum și pentru a înlesni eliminarea unor impurități cum este sulful.

Fondanții cei mai folosiți sînt bazici ($CaCO_3$), rocile din minereuri fiind de obicei acide, cu un conținut destul de bogat în oxizi de siliciu și aluminiu; cînd minereurile conțin roci bazice se introduc fondanți acizi.

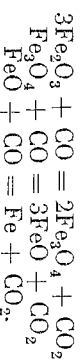
Minereurile, combustibilul și fondanții se introduc în furnal pe la partea superioară, în cantități bine determinate și alternant, astfel că în furnal formează straturi, care coboară treptat și care sînt încălzite de gazele care se urcă.

Procesul de transformare care are loc în furnal este complex.

Prin gurile de vînt se suflă în furnal aer sub o presiune de 1,2—3,0 at, după ce a fost încălzit în prealabil la o temperatură de 600 ... 900°C. Încălzirea se face în construcții speciale numite *preîncălzitoare*, (caupere), care au interiorul umplut cu zidărie refractară, formînd goluri. Zidăria preîncălzitoare este încălzită prin arderea gazelor calde ieșite din furnal. Aerul rece este suflat cu presiune de suficiente foarte puternice prin preîncălzitoare încălzite; în același preîncălzitor, procesele de încălzire a zidăriei și a aerului se alternează la intervale de circa 45 min.

Gazele provenite din arderea cocsului, cu o temperatură de circa 1 800°C, traversează materialele și le cedează căldură, ajungînd la partea superioară la o temperatură de 200 ... 300°C.

În zona superioară a furnalului materialele sînt uscate. Mai jos, la temperaturi între 400 și 950°C se produce reducerea indirectă a oxizilor de fier cu ajutorul oxidului de carbon din gazele care se urcă, după reacțiile



În parte au loc și reduceri directe, în contact cu carbonul la temperaturi înalte, conform reacțiilor



Este economic ca mersul furnalului să fie astfel încît reducerea oxizilor superiori în FeO să se facă indirect, iar reducerea oxidului de fier FeO să se facă 50% indirect și 50% direct.

La temperatura înaltă din părțile de jos ale furnalului, fierul redus dizolvă o cantitate de carbon formînd fonta; o parte din fier începînd de la 600°C se combină chimic cu carbonul după reacția



Rezultă *carbura de fier* (cementita) care se amestecă cu restul fierului. Pe măsură ce amestecul fier-cementită se îmbogățește în carbon, temperatura de topire devine mai mică și fonta începe să cadă în picături în partea de jos a furnalului numită *creuzet*.

Restul materialelor din mineruri, fondanții și cenușa rezultată din arderea coacului se separă treptat de fontă sub formă de zgură topită; zgura care este mai ușoară se adună la partea superioară a creuzetului, deasupra fontei.

La diferite intervale de timp, 2—4 ore, se evacuează din creuzet zgura și fonta rezultată. Fonta se topește la +145°C pînă la 1400°C, după conținutul de carbon.

Fontele obținute în furnale sînt de diferite categorii. Interesează în cele ce urmează fontele cenușii (de turnătorie), fontele albe (de afinare) și fontele speciale (feroaliaje).

Fonta cenușie are în ruptură o culoare cenușie datorită prezentei grafitului; este relativ moale și se poate luera la mașini-unelte. Calitățile ei sînt cu atât mai bune cu cît grafitul este mai mărunț și mai uniform răspîndit.

Fonta albă conține multă cementită și din această cauză este foarte dură. Servește pentru fabricarea oțelului.

Fontele speciale conțin într-o proporție mare unul sau mai multe elemente de aliere: siliciu, aluminiu, mangan, crom, titan, molibden etc. și servesc la fabricarea oțelurilor ca adaosuri sau ca elemente de aliere.

Fontele conțin în afară de Fe și C și alte elemente însoțitoare, care provin din mineruri sau care se adaugă în mod voit.

Siliciul favorizează separarea carbonului sub formă de grafit, mărește fluiditatea și micșorează contracția. Conținutul de siliciu este mai mare în fontele cenușii, unde poate ajunge pînă la 4%; fontele albe conțin sub 1,6%. Si.

Manganul contribuie la formarea cementitei; împiedică separarea carbonului sub formă de grafit. Lucrează ca desulfurant, formînd sulfura de mangan, care trece în zgură. Conținutul de mangan în fonte este sub 2%. Pentru scopuri speciale se fabrică fonte cu un conținut de mangan mai ridicat (8—12%).

Sulfur este un element dăunător; înlesnește producerea crăpăturilor la temperatura înalte și micșorează fluiditatea. Conținutul de sulfură trebuie să rămîină sub 0,1%. În timpul elaburării fontei sulfură se elimină parțial, formîndu-se sulfură de calciu și sulfură de mangan care trec în zgură.

Fosforul înrăutățește proprietățile mecanice ale fontei, făcînd-o fragilă la rece. Mărește duritatea și rezistența la uzură. Este avantajos la turnarea unor piese cu detalii mărunte, deoarece fonta cu fosfor este mai fluidă în stare topită; se folosesc fonte cu un conținut de fosfor mai ridicat la tur-

narea unor piese la care calitățile mecanice nu au o importanță mare. Obișnuit conținutul de fosfor trebuie să fie sub 0,3%, pentru fontele de afinare în cuploare Martin. Fontele cu un conținut de fosfor mai ridicat (1—2,5%) se afinază în convertizoare Thomas.

b. Caracteristicile fontei pentru construcții

Fonta este folosită astăzi în construcții destul de puțin; din fontă cenușie se confecționează plăci și rulouri pentru reazeme, unele rezeme speciale și alte piese de însemnătate redusă. Piesele din fontă se obțin prin turnare. Fonta brută, așa cum rezultă de la furna, este neuniformă ca structură și conține încă multe impurități dăvoroabile.

În general, pentru confecționarea pieselor se folosește fontă retopită, amestecată cu fontă veche și chiar cu unele cantități de oțel vechi. Prin re-topire de mai multe ori, fonta își îmbunătățește calitățile; structura se uniformizează, capătă grăunți mai fini, se curăță de impurități.

Proprietățile mecanice ale fontei depind de proprietățile masei metalice de bază și de cantitatea de grafit, cum și de moduri în care grafitul este distribuit în masa metalică. Grafitul are proprietăți slabe, astfel că intercalațiile de grafit pot fi considerate ca niște goluri, ca niște defecțe. Cu cît numărul și mărimea lor sînt mai importante, cu atât fonta va fi mai slabă.

Rezistența la compresune, duritatea și rezistența la uzură sînt mai puțin influențate de conținutul de grafit; ele depind mai mult de proprietățile masei metalice de bază. În schimb, rezistența la întindere și în mare măsură și la încovoiere sînt influențate de conținutul și forma formațiilor de grafit.

Fontele care au formații mărunte de grafit și uniform răspîndite prezintă cele mai bune calități. Astfel de fonte sînt numite *fonte de calitate*.

Formațiile de grafit în masa fontei au și unele avantaje: amortizează vibrațiile și fac fonta insensibilă la defecțele de suprafață.

Fontele cenușii pentru construcții au caracteristicile mecanice din tabelul I.1.

Modulul de elasticitate E al fontelor Fc10, Fc15 și Fc20 se poate lua $E = 550\,000 \text{ daN/cm}^2$, iar al fontelor Fc25 se poate lua $E = 1\,000\,000 \text{ daN/cm}^2$; coeficientul de dilatare liniară $\alpha = 0,00001$.

TABELUL I.1

Marca	Caracteristicile mecanice ale fontei cenușii		
	Întindere	Încovoiere	Compresune
Fc10	1 000	2 700—3 400	—
Fc15	1 500	3 300—4 100	3 000
Fc20	2 000	3 900—4 600	4 000
Fc25	2 500	3 900—4 600	5 000

Ca material de construcție fonta este nesigură, în cazul solicitărilor de întindere și încovoiere, rupându-se practic fără deformații sensibile. Nu rezistă de asemenea la șocuri; se comportă însă bine la compresione. Nu se poate forța sau lamina; se poate însă prelucra la mașini-unelte prin aşchierie sau găurire.

Fonta este rezistentă la acțiunile atmosferice și ruginește greu.

2. OŢELURI

a. Elaborarea oţelurilor carbon și a oţelurilor aliate

Aliajele fier-carbon cu un conținut de carbon sub 1,7%, se numesc oțeluri. Când oțelul conține pe lângă carbon și alte elemente obișnuite: siliciu, mangan, sulf, fosfor etc., în proporții limitate se numește *oțel carbon*; când oțelul conține în anumite proporții elemente de aliere, altele decât carbonul, se numește *oțel aliat*. Elementele de aliere pot fi unele din elementele care se găesc obișnuit în oțeluri sau altele. Oțelul se consideră aliat când cei puțin unul din elementele sale depășește: mangan 0,85%, siliciu 0,75%, nichel 0,40%, crom 0,40%.

În construcții se folosesc oțeluri *slab aliate*, care au adaosuri de aliere în procente mici, dar mai mari ca limitele arătate mai înainte.

Oțelurile se fabrică din fontă printr-un proces de oxidare.

În trecut, neputându-se obține în cuptoare temperatura necesară topirii oțelului, care este mai ridicată decât a fontei, oțelul se fabrica în formă de pastă, zgura eliminându-se prin forjare; oțelul astfel obținut se numea *oțel pudrat*. Astăzi oțelul se obține prin topire, în stare lichidă, un astfel de oțel numindu-se și *oțel de fuziune*.

Procedecele obișnuite de fabricare a oțelului sînt: procedentul Bessemer, procedentul Thomas, procedentul Martin, procedentul electric; de cîtva timp se fabrică oțeluri în convertitoare cu insuflare de oxigen.

Procedentul Bessemer a fost descoperit în anul 1855 și permite să se fabrice oțel din fonte sărace în fosfor, dar bogate în siliciu. Fonta lichidă este turnată într-un recipient special, numit *convertizor*, care are o capacitate de 20—60 t și chiar mai mult. Convertizorul, construit din tablă, este căptușit la interior cu material refractar acid (fig. 1.2). Pe la partea inferioară se suflă aer sub o presiune de 2—2,5 at, care străbate masa lichidă de fontă; oxigenul din aer oxidează elementele insolubile din fontă și ca urmare temperatura se ridică de la circa 1250 la 1700°C.

În convertizor începe să se oxideze mai întâi fierul, formîndu-se FeO; se oxidează apoi Si, Mn, C, rezultînd SiO₂, MnO, CO.

Oxidul de fier împuțătește calitatea oțelului, făcîndu-l fragil la cald și înlesnește formarea sulfurilor; pentru a curăți oțelul de FeO se introduce în convertizor sau în cald mangan, siliciu sau aluminiu, care înlesnesc reducerea oxidului de fier, lăsînd fierul liber.

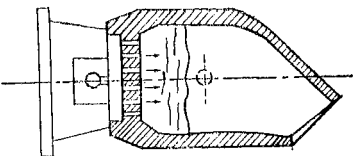


Fig. 1.2. Convertizor

reuri. Oțelurile fabricate prin procedentul Martin au calitate superioare oțelurilor de convertizor.

În cuptoarele Martin căldura necesară ridicării temperaturii se obține prin arderea unui combustibil.

Aerul necesar combustiei este încălzit în prealabil în camere, numite *regeneratoare de căldură*. Acestea sînt încălzite la rîndul lor cu gazele evacuate din cuptor, care trec mai înainte de a fi eliminate, prin regeneratoare (fig. 1.3). În camerele regeneratoare sînt încălzite de asemenea și gazele sărace; gazele de coș și gazele naturale nu se preîncălzesc.

Cuptoarele Martin sînt acide sau bazice, după natura căptușelii cuptorului. În cuptoarele acide se afinează fonte care conțin mai mult siliciu și puțin fosfor; în cele bazice se afinează și fontele fosforease.

În cuptoarele Martin aerul nu vine în contact direct cu fonta topită; aerul și gazele ardorii trec pe suprafața băii metalice, acoperită cu zgură. Reacțiile au loc prin intermediul zgurii și sînt mai încete, astfel că elaborarea oțelului durează 6—12 ore, în funcție de capacitatea cuptorului, de combustibil și de calitatea materiei prime. Capacitatea cuptoarelor Martin este foarte mare, ajungînd la 600 t și chiar mai mult. Procedentul Martin bazic permite să se tosească și adaosuri de oțel

Elementele care se adaugă mai au scopul de a corecta conținutul de carbon, de a curăți oțelul de gaze și de a înlesni formarea unei structuri cu granulație fină.

Procedentul Thomas, descoperit în anul 1878, permite să se fabrice oțel din fonte bogate în fosfor. Căptușeala convertizorului este bazică. Căldura necesară afînării fontei se obține în special prin arderea fosforului. Oxidarea fosforului, ca și a celorlalte elemente, se face prin intermediul oxidului de fier. Începând de la început se introduce în convertizor oxid de calciu, care înlesnește eliminarea fosforului și parțial a sulfului.

Oțelul Thomas conține oarecare cantități de oxid de fier, incluziuni de zgură, azot.

Procedentul Martin, descoperit în anul 1864, permite elaborarea celor mai variate oțeluri, folosind fonte de orice calitate și adaosuri de deseuri de oțel vechi și mine-

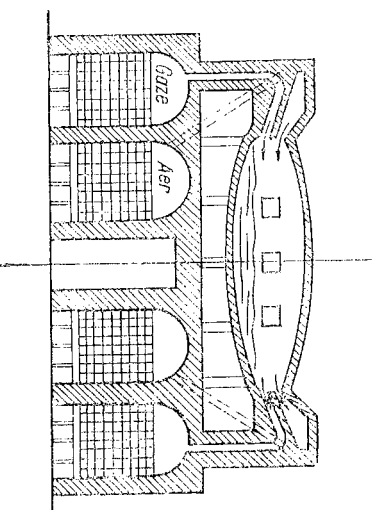


Fig. 1.3. Cuptor Martin.

vechi (25—35%) sau minereu (20—25%), precum și elaborarea oțelului din metal vechi.

Oțelurile aliate se fabrică în cuptoarele Martin.

Procedeele de convertizare îmbunătățite, folosite astăzi, permit producerea în convertizoare a unui oțel de calitate bună și economic; s-au pus la punct metode de fabricare care să permită obținerea unor oțeluri în convertizoare cu calități asemănătoare cu cele ale oțelurilor Martin. Unul dintre aceste procedee constă în eliminarea sulfării aerului prin masa de fontă lichidă; afinarea se face introducându-se oxigen pe la partea superioară a băii de metal topit (convertizoare cu insulfare de oxigen).

Procedeele electrice este cel mai perfecționat și servește la fabricarea oțelurilor de calitate; căldura necesară este procurată prin transformarea energiei electrice.

Oțelurile, indiferent de modul de elaborare, pot fi calmate, semicalmate și necalmate. Înainte de a fi turnat în oale, oțelul este deoxidat într-o măsură oarecare, urmărindu-se reducerea oxidului de fier. La *oțelul necalmat* deoxidarea se face în cuplor, cu ferromangan și mneori și cu o cantitate oarecare de ferossiliciu; la acest oțel oxidul de fier rămas se consumă în reacția cu carbonul în lingotieră, obținându-se degazarea necesară. În timpul reacțiunii care are loc se produce o „ferbere” a lichidului din lingotieră, caracteristică acestei turnări. Oțelul necalmat nu conține siliciu sau conține cantități mici, pînă la 0,07%; are proprietăți plastice mari.

Oțelul calmat se deoxidează suplimentar pe igrheașul de turnare și în oala de turnare cu Si și Al, introduse sub formă de ferossilicaje. La turnarea în lingotieră nu mai are loc fierberea caracteristică oțelului necalmat; uneori, după necesitate, se face o deoxidare puternică, combinând diferiți deoxidanți foarte activi. Lingourile turnate calmate au o structură mai omogenă și o demarcație mai lentă între zonele exteroare cu mai puține impurități și cea interioară mai bogată în impurități. Oțelurile calmate conțin peste 0,17% siliciu.

Oțelul semicalmat se obține în principiu ca și oțelul calmat, cu adaosuri de deoxidare mai puțin decât la oțelul calmat; conține între 0,07 și 0,17% Si.

Oțelurile aliate și slab aliate sînt elaborate numai calmate.

Procedeele metalice sînt rezultatul unui șir de procese de fabricație. În fig. 14 este arătat schematic cum se obțin produsele din fontă și oțel prin diferite procedee.

Din mineruri se obține fonta, care constituie un produs intermediar; oțelul se obține în general din fontă. În mod obișnuit fonta este adusă la oțel în stare lichidă. Deoarece între ritmul de producție al furnalelor și al oțelăriei pot exista diferențe, între furnal și convertizoare sau cupitoare se introduce un *melașor*, în care este introdusă fonta adusă de la furnal. Folosirea melașorului mai are avantajul că aici fonta, provenită de la oțel, se mai elimină o parte din sulf, care se combină cu manganul. Din melașor fonta lichidă este adusă la convertizoare sau cupitoare, unde au loc procese-

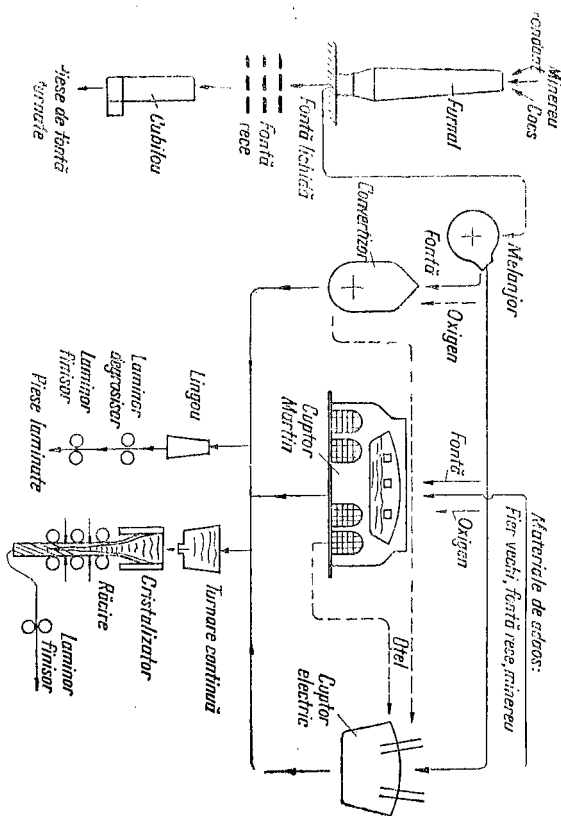


Fig. 14. Schema fabricării produselor metalurgice.

sele de afinare pentru transformarea fontei în oțel. În convertizoare și cupitoare, în timpul elaborării, se introduc diferite adaosuri pentru eliminarea unor impurități și pentru îmbunătățirea compoziției.

La fabricarea oțelurilor aliate se introduc ferossilicaje, care conțin adaosul necesar în procente mari.

b. Turnarea oțelului în lingotiere

Oțelul elaborat în convertizoare sau cupitoare se toarnă mai întâi în oale, care sînt din tablă, căptușită la interior cu cărămidă refractară (fig. 15); la fundul oalei este o gaură închisă cu un dop refractar care poate fi deschisă prin acționare din exterior. Conținutul oalei se toarnă în forme speciale, numite *lingotiere*, sau în altele tipuri de forme, cînd se toarnă direct diferite piese din oțel. Lingotierile sînt din fontă sau din oțel turnat și au dimensiuni și forme variabile (fig. 16). În secțiune transversală sînt de obicei pătrate; pot fi însă și rotunde, dreptunghiulare, octogonale. Secțiunea verticală este trapezoidală cu baza mare jos sau sus. De obicei sînt fără fund.

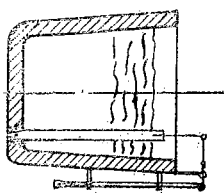


Fig. 15. Oală de turnare.

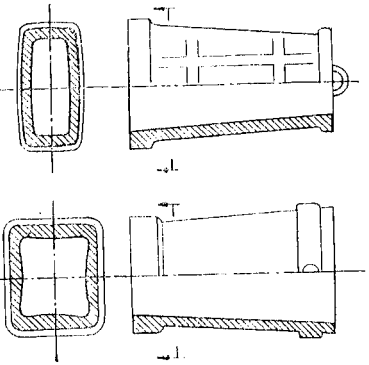


Fig. 16. Lingotiere.

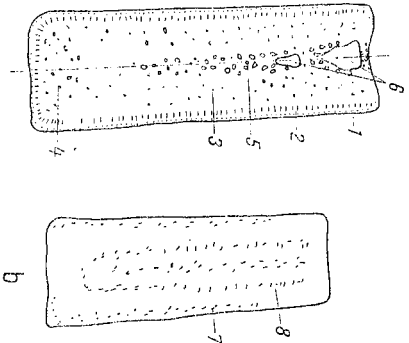


Fig. 17. Solidificarea oțelului în lingotiere:

2 — cristale; 6 — sulfuri; 7 — coajă exterioră cu grăunți fini; 8 — zona de oxidare; 3 — cristale mici orientate diferite; 4 — cristale formate în parte prin cădere; 5 — cristale globulare; 6 — rețasuri; 7 — coroană de sulfuri exteriori; 8 — coroană interioară.

Turnarea oțelului în lingotiere se face *direct* pe la partea superioară sau în *sifon*, când mai multe lingotiere sînt legate la partea de jos prin canale care merg la un tub central; umplerea lingotierelor la turnarea în sifon se face de jos în sus. Prin turnarea în lingotiere se obțin *lingouri*, care apoi sînt laminare sau forjate.

Greutatea lingourilor variază de la câteva sute de kilograme la 40 t și chiar mai mult.

De cîtva timp a început să fie folosită *turnarea continuă*, prin care se obțin diferite bare direct din oțel lichid. Oțelul lichid trece printr-un vas fără fund numit *crystalizator*, ai cărui pereți sînt răciți cu apă; crystalizatorul are la interior forma barei ce trebuie obținută. Meteorul trece mai departe printr-o zonă stropită puternic cu apă, unde se solidifică întreaga secțiune. Prin acest procedeu se elimină turnarea în lingotiere și unele din operațiile de prelucrare a lingourilor.

Solidificarea oțelului în lingotiere are loc pe zone, începînd de la exterior, printr-un proces de cristalizare (fig. 1.7). În contact cu pereții, oțelul lichid cedează intens căldură; pe o grosime mică spre pereții lingotierei metalul se solidifică cu grăunți fini. Are loc un proces de contracție și coaja solidă care s-a format se separă puțin de pereții lingotierei. În continuare, la oțelul cald se formează de la coajă spre interior cristale alungite pe direcția de pierdere a căldurii, numite dendrite. Aceste cristale au o compoziție mai pură decît lichidul înconjurător, impuritățile migrînd spre interiorul masei de lichid fierbinte. Lichidul, mai bogat în carbon, fosfor, sulf, se răcește acum ceva mai încet și apar cristale dispersate în masa de lichid, mai numeroase în apropierea zonelor răcite mai înainte. Crista-

lele, fiind mai grele decît lichidul, unele cad spre fundul lingotului. Cele rămase, unele fixate de dendrite, se înnulesc treptat, formînd o altă zonă solidă cu cristale orientate în diferite direcții, dar mai ales în direcția transmisiei căldurii. Baza lingotului se solidifică ceva mai repede și lichidul este împins spre interiorul lingotului. Zona centrală a lingotului, bogată în impurități, cristalizază mai la urmă în numeroase cristale neorientate și sub formă globulară.

În principiu apar trei zone principale, notate 1, 2 și 3.

Oțelul necalmat conține gaze și oxid de fier în exces; după formarea scoarței exterioare, oxidul de fier difuzează spre interior, unde are loc oxidarea a unei părți din carbon, formîndu-se CO, care în mișcarea ce are loc produce fierberea oțelului lichid din lingotieră. Această fierbere este puternic influențată de răciria fundului lingotului. Datorită agitației lichidului dendritale în creștere sînt fărâmițate; din această cauză zonele 2 și 3 capătă o altă structură. În masa lichidă se formează cristale care cad spre fundul lingotului și grabesc solidificarea părții inferioare a lingotului. Spre sfîrșit, cînd fierberea tînde să se oprească, gazele rămase în lichidul viscos întîmpină rezistență în deplasarea lor și rămîn încorporate în masa lingotului. Desigur, condițiile de răcire și solidificare sînt influențate de mărimea, de forma lingotierei, de grosimea pereților și altele.

Lingoul din oțel necalmat se prezintă cu o suprafață exterioră curată. Oțelurile necalmate au tendința de îmbătrînire termică și după deformare la rece; în general prezintă o structură cu grăunți mari. Compoziția chimică este desluș de neuniformă în masa lingotului.

c. Defectele lingourilor

La turnarea oțelului în lingouri apar, în general, unele defecte mai mult sau mai puțin pronunțate; astfel de defecte sînt:

Rețasura care este un gol ce se formează ca urmare a contracției părții lichide în timpul solidificării. Forma și mărimea rețasurii depind de compoziția oțelului, de temperatura și viteza de turnare, de gradul de dezoxidare etc. La oțelul cald, turnat cu temperatură și viteză scăzută, apar rețasuri la partea superioară a lingotului.

Adinecimea rețasurii crește cînd temperatura este ridicată și viteza de turnare mare, mai ales la turnarea în sifon; mai pot apărea și rețasuri secundare situate sub rețasura principală superioară; la turnarea în sifon pot apărea și rețasuri spre partea inferioară a lingotului. Rețasurile sînt mai mici cînd lingotiera are pereți groși, aceasta favorizînd răciria încetă. Se măsorează rețasura dacă se folosește maselotă și aceasta se reumple cu oțel lichid. Normal rețasura pătrunde pe 30% din înălțimea lingotului; în condiții de turnare nefavorabile rețasura se poate prelungi mult în lingou.

La oțelul necalmat rețasura este mai mică. Partea cu rețasură se taie și se îndepărtează; lingourile cu rețasuri secundare sînt compromise.

Microveleasurile (porozități) apar între dendritele în creștere sau pe marginile cristalelor; la răcire în spațiile mici rămîn goluri umplute cu gaze, în

care nu poate pătrunde oțelul lichid. Sînt mai răspîndite în apropierea re-tasurilor și în general în părțile care se solidifică la urmă.

Sulfurile sînt goluri mici produse de gazele care se degajă din metal sau din materialele de pe pereții îngotierei.

Metalele la temperaturi ridicate absoarbe gaze; în măsura în care se solidifică scade capacitatea oțelului de a dizolva gazele și acestea se separă sub formă de bule, care se ridică, trecînd în zonele lichide. Oxidul de carbon se separă intens pe lingă prima crustă solidificată, dar cînd oțelul devine viscos rămîne prins în stratul înfășit (coroana exterioră). În mod asemănător se poate repeia formarea de bule pe marginea zonei solidificate mai spre interior, rezultînd alte sulfuri spre interiorul lingoului (coroana interioară) (fig. 1.7, b).

Răcindu-se și centrul lingoului, la oțelul necalminat apar unele sulfuri rotunde. Sulfurile fiind umplute cu gaze au pereții netezi și neoxidați. La laminare, în general, se închid și se sudează: sînt cazuri însă cînd sînt pline cu gaze oxidante și nu se sudează.

Dacă sulfurile de pe margine sînt prea aproape de suprafață, crusta care le acoperă se poate rupe și produsele laminare prezintă exfolieri și crăpături, iar pereții sulfurilor se oxidează.

Sulfurile interioare pot rămîne nesudate, mai ales cînd laminorul nu este puternic și au loc puține treceri, creîndu-se unele discontinuități.

Oțelurile necalminate au tendința de a forma numeroase sulfuri marginale și interioare. Cele calmate au puține sulfuri, în zona rețasurii; în rest lipsesc. Lingourile cu sulfuri multe sînt de calitate inferioară.

Segregația constă într-o neuniformitate de compoziție chimică între părțile centrale ale lingoului (care se răcesc la urmă) și cele periferice, care se răcesc mai înainte.

Părțile cristalizate la început conțin mai puține elemente (C, S, P.) decît cele cristalizate mai tîrziu; în timpul cristalizării, carbonul, sulful și fosforul trec în zonele lichide cu temperaturi mai mari (spre centrul lingoului) și în tot lingoul la oțelurile necalminate; la cele calmate segregația este limitată în general în treimea superioară a lingoului.

Ca urmare apar zone cu concentrații mai mari de C, S și P. În unele cazuri această segregare apare neuniformă.

În general, diferențierea compoziției chimice prin segregare este mai accentuată la oțeluri necalminate; poate exista segregare cu trecere lentă sau bruscă, cu diferențe mari de concentrații între periferie și centru.

Segregarea poate fi influențată prin unele adaosuri.

Există o oarecare segregare și în cuprinsul cristalelor (segregare cristalină); părțile din cristal formate la început sînt mai curate decît cele formate mai tîrziu.

Incluziunile sînt particule de impurități care se produc în timpul reacțiilor care au loc în oțelul lichid (oxizi) sau provin din zgură, din materiale refractare etc. Alte incluziuni sînt formate din FeS, MnS sau sulfură de Al. Incluziunile pot fi mici și răspîndite în masa lingoului, pot fi grupate și mari. Lingourile cu incluziuni peste anumite limite sînt de calitate slabă.

Lineori cînd se adaugă elemente de aliere în bucoți mari la o temperatură a lichidului prea joasă sau prea puțin timp înainte de turnare, acestea nu se toposesc complet și apar sub formă de incluziuni metalice. Oțel fără incluziuni nu există. Sînt mai dăunătoare incluziunile care provin din afara topiturii.

Crăpăturile apar la suprafața lingoului, putînd fi orizontale sau verticale.

Se datorese faptului că oțelul solidificat are rezistențe mici de rupere la temperaturi ridicate; sînt de asemenea provocate de unele defecte în pereții îngotierei, presiunii exercitate de oțelul lichid asupra crustei periferice, vitezei de turnare. O crustă grosă, care se formează în îngotierele cu pereți groși, reduce fisurarea. În unele cazuri apar și crăpături interioare, cînd răcirea este bruscă.

3. CARACTERISTICILE OTELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII

La confecționarea construcțiilor metalice se folosesc laminare: table, profile, țevi etc., fabricate prin laminare la cald a lingourilor turnate din diferite mărci de oțeluri. Laminatele din oțeluri de uz general furnizate de uzinele din țara noastră au compoziția chimică și caracteristicile mecanice date în tabelele 1.2 și 1.3.

Compoziția chimică a oțelurilor de uz general

TABELUL 1.2

Marca	Clasa de calitate	Gradul de oxidare	C % max	Mn %	Si % max	P % max	S % max	Alte elemente pe produs
OL 34	1	k	0,19	0,21—	0,07	0,055	0,055	—
		n	0,17	0,60	0,40	0,065	0,055	—
		k	0,25	—	0,07	0,065	0,055	—
OL 37	2	n	0,22	0,28—	0,07	0,055	0,055	—
		k	0,20	0,85	0,40	0,055	0,055	—
		n	0,19	—	0,40	0,050	0,050	Al min. 0,020
OL 44	3	k	0,22	0,75—	0,50	0,055	0,055	Al min. 0,020
		n	0,22	1,15	0,50	0,050	0,050	Al min. 0,020
		k	0,22	—	0,50	0,055	0,055	—
OL 52	4B	k	0,22	1,05—	0,50	0,050	0,050	Al min. 0,020 V max. 0,15 la 4 I și 4 II
		n	0,20	1,55	—	0,045	0,045	—
		k	0,20	—	—	0,040	0,040	—

TABELUL 1.3

Caracteristicile mecanice ale oțelurilor de uz general

Clasa de oțeluri oxidate	Limita de curgere σ_e în daN/mm ² min.			Rezistența la rupere la tracțiune sau în daN/mm ² min. σ_r	Alungirea relativă la rupere δ_2 în %	Indicele la tracțiune ψ în %	Rezistența la rupere σ_r în daN/cm ² min.		Energia de rupere KV min.
	I	II	III				$\sigma \leq 16$	$\sigma > 16$	
OL 34	n	19,6 (20)	18,6 (19)	17,6 (18)	33,3-41,2 (34-42)	31	$d=0,5a$	—	—
	k	—	—	—	—	—	—	—	—
OL 37	n	23,5 (24)	22,5 (23)	20,6 (21)	36,3-44,1 (27-45)	25	$d=1,5a$	7	6
	k	—	—	—	—	26	$d=1,0a$	—	2,8
OL 44	n	28,4 (29)	27,4 (28)	25,5 (26)	43,1-53,9 (44...55)	22	$d=2a$	6	5
	k	—	—	—	—	25	$d=2a$	—	2,8
OL 52	n	35,3 (36)	34,3 (35)	La înțelegere	51-60,8 (52-62)	20	$d=3,0a$	6	5
	k	—	—	—	—	22	$d=2,5a$	—	2,3
OL 52-4	4A	—	—	—	—	—	—	—	—
	4B	—	—	—	—	—	—	—	2,8

Notă.

— Numerele în paranteză reprezintă valorile în kgf/mm²;

— a grosimea tablei;

— I, valori pentru $a \geq 16$ mm;

— II, valori pentru $a \geq 16$ la profile răsotate și pentru $16 < a < 25$ la table și plăci bandate;

— III, valori pentru $25 < a \leq 40$ pentru table și plăci bandate.

— Valorile reziliențelor se înțeleg pe epuravete longitudinală (tăiate în sensul laminării);

— Pentru garanțarea energiei de rupere KV la -30°C , la comandă se completează simbolul de calitate cu I, iar pentru -40°C cu II (de exemplu OL 52-4 I, respectiv OL 52-4 II).

Pentru confecționarea unor construcții metalice se folosesc și alte oțeluri, fabricate în țară sau provenite din import; caracteristicile acestor oțeluri vor fi apreciate pe baza datelor garanțate de furnizor sau vor fi determinate pe baza verificărilor, care vor fi efectuate în aceleași condiții pre-

văzute pentru verificarea oțelurilor standardizate în țara noastră, eventual cu determinarea unor caracteristici suplimentare. Unele elemente folosite în construcții se confecționează din alte oțeluri sau din fontă; astfel, pentru piese de reazem se folosește oțel carbon pentru tunare, oțel carbon de calitate sau fontă; șinele căilor de rulare ale podurilor rulante se fac din oțel carbon marca OL 50 la OL 70.

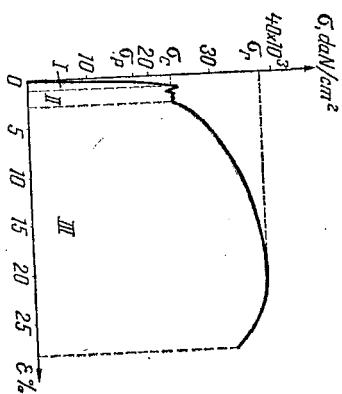
Una din caracteristicile importante ale oțelurilor de construcții este *tenacitatea*, adică proprietatea oțelului de a se deforma mult sub acțiunea solicitărilor exterioare, înainte de a se rupe. Această proprietate poate fi însă influențată de favorabil de natura solicitărilor și de alți factori ca defecte de execuție, concentrații de eforturi, temperatura la care este supusă construcția și altele.

Caracteristicile mecanice ale oțelurilor de construcții cerute de norme noastre și de alte norme străine sînt: limita de curgere, σ_e ; rezistența la rupere, σ_r ; alungirea relativă la rupere, δ_2 ; aceste caracteristici sînt puse în evidență în diagrama $\sigma - \epsilon$ (fig. 1.8). O altă caracteristică prevăzută în norme este scosă în evidență de îndoirea la rece, care permite aprecierea capacității de deformare plastică a materialului. Limita de curgere, care pune în evidență limita dintre domeniul elastic și plastic, constituie un criteriu de rebuț și, pentru proiectare, servește pentru determinarea valorii rezistențelor de calcul, cu care se compară eforturile unitare determinate prin calcul.

O altă caracteristică prevăzută de norme este cea determinată prin încercări de încovoiere prin șoc pe epuravete cu creștătură în U și V; aceste încercări, prevăzute a fi efectuate la anumite temperaturi, în funcție de clasa de calitate a oțelului, dau elemente de apreciere asupra modului cum se comportă oțelul respectiv la solicitări variabile, la solicitări dinamice și chiar statice în anumite condiții la temperaturi joase. Aceste încercări dau de asemenea indicații asupra tendinței unor oțeluri de a se rupe fragil, fără sau cu deformății mici, la anumite temperaturi, în general scăzute.

Unele din calitățile oțelurilor sînt influențate și de gradul de dezoxidare. *Oțelul necalmat* din mărcile OL 34 și OL 37, clasele 1 și 2, este practic nedezoxidat; aceste oțeluri au în general o compoziție chimică neomogenă, o reziliență mică la temperaturi chiar puțin scăzute și prezintă tendință de rupere fragilă la rece.

Oțelurile calmate au segregări mai reduse, reziliențe mai bune la temperaturi scăzute și se sudază mai ușor și mai bine.

Fig. 1.8. Diagrama $\sigma - \epsilon$.

O influență asupra comportării produselor de oțel sub influența solicitărilor, în special la table, o are și grosimea laminatului, așa cum se vede și din tabelul I.3; limita de curgere, la aceeași compoziție chimică, scade în măsură în care grosimea elementului crește. Grosimea elementului are de asemenea o influență sensibilă și asupra comportării la rupere fragilă.

Compoziția chimică influențează sensibil calitățile oțelurilor. Rezistența la rupere și limita de curgere se ridică dacă crește conținutul de carbon; în același timp, însă, se măsoară alungirea la rupere și reziliența și se complică tehnologia de sudare.

Manganul, în proporțiile uzuale, ridică proprietățile mecanice, fără a reduce mult alungirea.

Siliciul influențează avantajos calitățile oțelului, contribuind la mărirea rezistenței și la formarea grăunților fini; în proporții mari îngreunează sudarea. *Fosforul* ridică rezistența la rupere și mărește rezistența la coroziune; contribuie însă la formarea structurilor fibroase și mărește fragilitatea oțelului la rece.

Sulfur, ca și fosforul, este un element dăunător; prezintă tendință accentuată spre segregatie zonală, în deosebi la oțelurile necalmate.

Arsenul mărește rezistența, dar măsoară calitățile plastice și tenacitatea; se limitează la cel mult 0,06%.

Alte elemente însoțitoare pot fi Cr, Ni, Cu, care la oțelurile carbon de uz general din clasele 3 și 4 sînt limitate la cel mult 0,30% fiecare.

Azotul, *hidrogenul* și *oxigenul* coboară calitățile mecanice ale oțelurilor și influențează defavorabil proprietățile de sudare. Oțelurile care conțin azot au o mare tendință spre îmbătrînire și o sensibilitate accentuată la rupere prin șoc.

Caracteristicile mecanice ale oțelurilor sînt influențate și de temperatură (fig. 1.9): la temperaturi ridicate calitățile mecanice se modifică puțin pînă la temperaturi de circa +250°C; mai departe încep să se reducă sensibil, iar alungirea crește apreciabil.

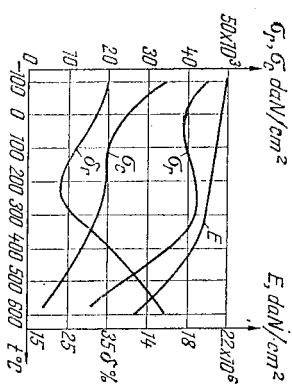


Fig. 1.9. Variația caracteristicilor mecanice ale oțelului în funcție de temperatură.

Modulul de elasticitate longitudinal al oțelurilor laminate și turnate este $E = 2,1 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$, iar modulul de elasticitate transversal este $G = 0,81 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$; coeficientul de dilatare termică liniară este $\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$.

Oțelurile slab aliate, folosite la noi în față pentru construcții metalice, se obțin prin aliere cu Mn și Si în proporții reduse. La noi sînt asimilate mărcile de oțeluri OL 44 și OL 52; sînt oțeluri calmate. Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale acestor oțeluri, inclusiv reziliența sau energia de rupere prin șoc, sînt date în tabelele I.2 și I.3.

Produsele laminate la cald din oțeluri carbon sau slab aliate, de uz general, sînt produse de masă și se folosesc în mod curent la confecționarea construcțiilor metalice. În privința costului se menționează că oțelurile calmate marca OL 37 sînt cu 14—15% mai scumpe decît cele necalmate, iar oțelurile slab aliate, care sînt în toate cazurile calmate, sînt cu 30—40% mai scumpe decît oțelurile marca OL 37 necalmate.

Industria noastră siderurgică mai fabrică, în afara oțelurilor de uz general, și alte oțeluri pentru destinații speciale, care satisfac diferite condiții, altele decît cele cerute oțelurilor de uz general.

Dintre oțelurile care interesează domeniul construcțiilor metalice se menționează:

Oțelurile rezistente la coroziune atmosferică, la care, sub influența condițiilor atmosferice, se formează pe suprafața pieselor un strat de oxid cu porozitate redusă și foarte aderent; după un timp oarecare aceste oțeluri capătă o patină cu aspect plăcut, care limitează în mare măsură pătrunderea corozivității. Un astfel de oțel este oțelul tip cor-ten. Sînt oțeluri cu grăunți fini, calmate și dezoxidate cu Si și Al; se lucrează și se sudază ca oțelurile de uz general.

Oțelurile rezistente la rupere fragilă la temperaturi joase, care au valoarea energiei de rupere prin șoc cel puțin 2,8 daJ la -40°C și chiar mai jos. În țara noastră se fabrică oțelurile cu granulație fină OCS1, OCS2 și OCS3; care sînt oțeluri slab aliate și din care se fabrică table pentru construcții sudate.

Alte oțeluri au limita de curgere garantată la cald, fiind destinate construcției de cazane, recipienti pentru fluide calde și altele.

4. ALIAJE DE ALUMINIU

a. Fabricarea aluminiului

Aluminiul este un metal foarte răspîndit în natură sub formă de silicați (argilă), fluoriuri (erolită), hidroxiizi (bauxite) etc. Se extrage din *bauxită*.

În prima fază, bauxita, care este un oxid de aluminiu, amestecat cu alți oxizi (de Fe, Si) și apă de hidratare, se transformă în *alumina* prin dizolvarea bauxitei în hidroxid de sodiu cu adaos de var nestins. Operația se face în vase de oțel sub presiune la o temperatură de 100 la 200°C. Hidratul de aluminiu care se precipită este caldat în cuptoare rotative, obținîndu-se alumina (Al_2O_3). Bauxita conține 50—60% alumina. În faza a doua are loc extragerea aluminiului din alumina prin electroliză dintr-o soluție de alumina în erolit topit, care este introdusă într-un cuptor electric cu electrozi de cărbune fin (fig. 1.10). Aici alumina se descompune în *aluminiu*, care se depune pe fundul băii (la catod) și în oxigen care se combină cu cărbunele electrozilor. Curentul electric este menținut la o tensiune de 5—8 V, iar temperatura necesară este de 850—900°C. O tonă de aluminiu se obține din 2 t de alumina sau 4—5 t de bauxită și din 1,8 t de erolit; se consumă 1,8 t cărbune și 25 000 kWh energie electrică.

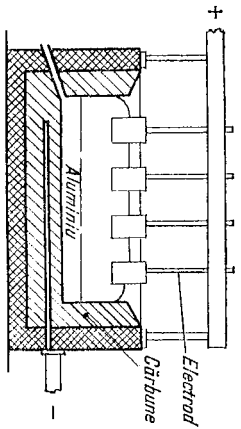


Fig. 110. Cuplor pentru electroлиза aluminiului.

unor elemente de aliere. Prin elementele de aliere se asigură aliajelor de aluminiu o serie de proprietăți:

- rezistență mecanică prin adăugare de Cu, Mg, Si, Mn;
 - rezistență la coroziune prin adăugare de Mg, Mn;
 - rezistență la temperaturi mai ridicate prin adaosuri de Ni și Fe;
 - turnare ușoară prin adăugare de Si, Cu sau Zn.
- Sînt aliaje complexe, cu mai multe elemente de aliere. Aliajele de aluminiu se împart în aliaje care se folosesc în stare laminată și în aliaje care se folosesc în stare turnată.

Aliajele pentru laminare pot fi:

aliaje cu mangan, care conțin 1,0—1,5% Mn, foarte rezistente la coroziune; un mic adaos de mangan le îmbunătățește mult calitățile. Se lucrează foarte ușor;

aliaje cu mangan, care conțin pînă la 6% Mg și 0,5—1,0% Mn. Sînt foarte rezistente la coroziune și la acțiunea apelor de mare;

aliaje cu cupru, mangan și mangan, care conțin 3—5% Cu, 0,4—1,6% Mg, 0,4—1,2% Mn și cantități mici de Si și Fe. Constituie grupa de aliaje de aluminiu cea mai răspîndită; unele aliaje din această grupă sînt cunoscute sub numele de *dur-aluminiu*. Manganul mărește rezistența dar îngreunează operațiile de lucrare la cald; manganul mărește rezistența mecanică și rezistența la coroziune;

aliaje cu mangan și siliciu, care conțin pînă la 1,5% Mg și pînă la 4,3% Si; mai conțin eventual în cantități mici Cu, Cr;

aliaje cu zinc și mangan, care conțin 4,5—7% Zn, 2—4% Mg și adaosuri de Cu, Mn, Ti, Cr. Aceste aliaje au rezistențe mari și se suddează ușor.

Aliajele pentru piese turnate se împart în:

aliaje cu siliciu, numite și *siluminuri*, care conțin pînă la 13% Si; au de obicei și alte adaosuri de Mg, Mn Cu;

aliaje cu cupru, care conțin în general și alte elemente de adaos în cantități mici;

aliaje cu mangan, care se toarnă ceva mai greu decît aliajele din alte grupe; conțin pînă la 10% Mg.

Aluminiul obținut prin această

cale conține circa 99% Al, restul fiind format din impurități (Fe, Si).

Aluminiul mai curat se obține din aluminiu tehnic, prin adăugarea prin electroliză, putîndu-se ajunge la un conținut de 99,99% Al. Aluminiul tehnic de calitate înaltă conține 99,7% Al.

Aliajele de aluminiu se obțin din aluminiu tehnic, prin adăugarea

b. Caracteristicile aluminiului și ale aliajelor de aluminiu

Aluminiul este un metal de culoare albă, cu o nuanță albastruie maleabil; se laminează și se trage ușor în fire.

În aer se acoperă imediat cu un strat subțire de oxid de aluminiu, care-i dă un luciu argintiu mat și care îl protejează, împiedicînd acțiunea de coroziune asupra straturilor interioare.

Greutatea aluminiului la temperatura obișnuită este de circa 2 700 kg/m³. Se topește la +658°C. Alte caracteristici sînt:

$$E = 700\,000 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\alpha = 2,4 \times 10^{-5};$$

Rezistența aluminiului este mică, 600—800 daN/cm², iar alungirea foarte mare, 30—40%. Ca și alte metale cu calități plastice, aluminiul își îmbunătățește proprietățile mecanice prin ecrusare, rezistența putîndu-se mări la 1 200—1 500 daN/cm².

În construcții se folosesc aliaje de aluminiu, care au caracteristici mecanice mult mai bune decît aluminiul.

Majoritatea aliajelor de aluminiu își îmbunătățesc apreciazabil caracteristicile prin tratamente termice și chiar prin simplă îmbătrînire naturală. Prin tratamente termice și prin îmbătrînire naturală rezistența la rupere

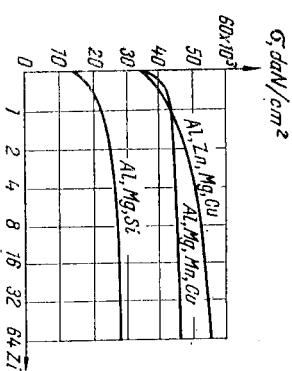


Fig. 111. Creșterea rezistenței prin îmbătrînire.

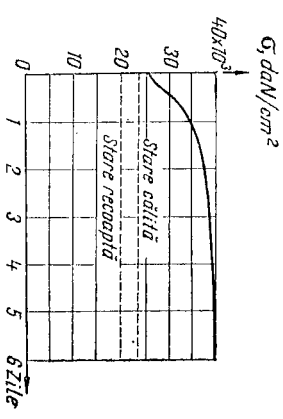


Fig. 112. Dezvoltarea în timp a îmbătrînirii naturale.

Caracteristicile mecanice ale unor aliaje de aluminiu

TABELUL I#

Aliajul	Rezistența la rupere daN/cm ²	Limita de curgere daN/cm ²	Alungirea la rupere %
AlMg	2 400	1 300	12
AlMgMn	2 800—3 000	1 700—1 800	12
AlCuMg	4 000—4 500	3 000—3 600	8
AlZnMg	5 000—5 800	4 000—5 000	7

a aliajelor de aluminiu poate să se mărească pînă la 100%. Efectele îmbătrînirii naturale depind de compoziția aliajului (fig. I.11) și de tratamentele anterioare. În cazul aliajelor de aluminiu are deci o mare importanță starea în care sînt livrate produsele. Acestea pot fi livrate în stare naturală, recoaptă, tratate termic parțial sau complet, caracteristicile mecanice fiind foarte diferite chiar la același material după tratamentul la care a fost supus.

Caracteristica îmbătrînirii naturale o constituie faptul că începe să se producă imediat după ce aliajul a fost laminat sau tratat termic, cu o viteză mică în primele 2—3 ore; în orele următoare viteza de îmbătrînire crește foarte repede și întreg procesul se termină practic în câteva zile (fig. I.12).

Caracteristicile unor aliaje de aluminiu folosite în construcții sînt arătate informativ în tabelul I.4.

II. PRODUSE DIN METAL FOLOSITE LA CONSTRUCȚII METALICE

1. PROCEDEE DE FABRICARE

a. Turnarea, forjarea și presarea

Turnarea constituie astăzi un mijloc larg folosit pentru producerea a numeroase piese. La construcții se folosesc piese turnate într-o măsură redusă. Se fac piese turnate pentru plăci de reazeme, rulouri pentru articulații din fontă, din oțel sau din aluminiu. Turnarea se face în forme care închid un gol de dimensiunile piesei care se toarnă, cu unele sporuri pentru contracția din răcire și pentru eventuale prelucrări la mașini-unelte.

În general, piesele după turnare sînt supuse unui tratament termic, pentru înlăturarea tensiunilor și pentru îmbunătățirea microstructurii. Se face în general o recoacere la temperatura $A_{s3} + 30^{\circ}\text{C}$. Prin recoacere se îmbunătățesc și proprietățile mecanice.

Alte procedee de fabricare a pieselor sînt forjarea, matrișarea, extruziunea și laminarea la cald sau la rece.

Forjarea constă în a da unei piese o formă geometrică anumită prin lovire sau presare. Forjarea pieselor de oțel se face de obicei la cald, oțelul fiind încălzit la $770 \dots 970^{\circ}\text{C}$, cînd oțelul are proprietăți plastice foarte bune. Prin forjare structura oțelului se modifică; cristalele mari devin mai mici și iau o formă alungită, perpendiculară pe direcția de forjare; aspectul devine fibros (fig. II.4). Piesele forjate rezultă cu tensiuni proprii mari; este necesar să fie supuse unui tratament de îmbunătățire prin recoacere sau normalizare.

Matrișarea este operația de forjare caracterizată prin aceea că deformarea se face într-un dispozitiv, numit *matrișă*, care are un spațiu liber de forma piesei ce trebuie obținută. Este un procedeu avantajos pentru obținerea pieselor mici și de serie mare. Uneori întreaga operație se face în câteva reprize.

Ambutisarea este o operație de îndoire și răstîngere a unei table în scopul de a i se da o formă anumită; se folosește pentru confecționarea unor piese din tablă, cum ar fi capace, funduri de recipiente etc.

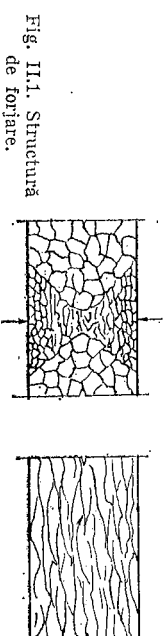


Fig. II.1. Structură de forjare.

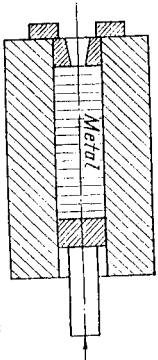


Fig. 11.2. Principiul extruziunii.

Extruziunea este un procedeu special de treecere forțată a metalelor încălzite la temperaturi mari prin matrițe de forme speciale (fig. 11.2). Prin extruziune se fabrică direct din material adus în stare plastică profile deschise, țevi, tuburi de diferite forme etc.

b. Laminarea și trefilarea

Laminarea este un procedeu de prelucrare continuă a metalelor; printr-o apăsare transversală produsă de doi cilindri, care se rotesc în sens contrar, grosimea piesei se reduce și cresc lungimea și lățimea (fig. 11.3). Prin laminare se urmărește schimbarea structurii lingoului și obținerea unui material cu structură mai fină și mai dens și transformarea lingoului în bare de anumite forme și secțiuni. Prin laminare sulfurile și unele rețasuri, dacă nu sînt oxidate, se scudează și se elimină sau se măsoșorează.

Laminarea celorlalte multe produse de oțel pentru construcții se face la cald. Lingourile de oțel, înainte de laminare, sînt încălzite în cuptoare la temperaturi de 1 000 la 1 200°C. Datorită plasticității austenitice și presiunii exercitate, cristalele suferă deformații mari și se alungesc în direcția laminării. Din cauza încălzirii la temperatura de laminare, grăunții de austenită se măresc; în funcție de gradul de deformare și de temperatură la care se face laminarea, spre sfîrșit va rezulta o structură cu grăunți mari sau mai mici. În general structura este grosolană cînd laminarea se termină la temperaturi prea ridicate, putînd prezenta separări aciculare de ferrită. Regimul de răcire după laminare are de asemenea o influență însemnată asupra structurii și asupra valorilor tensiunilor proprii. La o răcire cu viteză mai mare se obține o granulație mai fină; cînd răcirea este neuniformă se pot dezvolta tensiuni proprii mari. Din laminare poate rezulta o structură accentuat stratificată. Structura fibroasă se obține cînd laminarea se termină la temperaturi joase.

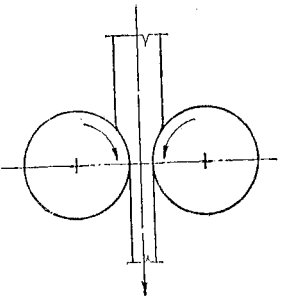


Fig. 11.3. Principiul laminării.

Pentru a se obține produse de diferite forme, lingourile trece mai întîi prin laminare de eboșare, care au scopul de a uniformiza materialul și a suprima sau reduce golumile neoxidate. Produsele laminarelor de eboșare, reîncălzite, trec în diferite tipuri de laminare; pentru obținerea produselor finite au loc mai multe treceri succesive.

Tragerea constă în treecerea forțată prin acțiunea unei forțe de întindere, a unui element de secțiune mică și lungime mare printr-un calibru fix, cu secțiunea orificiului mai mică decît a ele-

mentului. Prin tragere se obțin țevi, bare profilate cu pereți subțiri sau sîrme. Tragerea sîrmelor se numește *trefilare*. Piesele obținute prin tragere și trefilare au dimensiunile mai precise și fețele mai netede și mai curate decît cele obținute prin laminare.

2. LAMINATE DIN OȚEL

a. Semifabricate

Produsele laminării sînt în formă de semifabricate sau prelaminare și de laminate finite. Semifabricatele sînt folosite la laminarea altor produse sau la confecționarea pieselor prin forjare.

Semifabricatele se clasifică în: *blanuri*, care sînt bare cu secțiune pătrată cu latura mai mare decît 100 mm; servesc la laminarea altor prefabricate sau a profilelor cu secțiune mare;

brame, care sînt bare cu secțiune dreptunghiulară, cu grosimea de cel puțin 75 mm; se folosesc la laminarea tablelor, platbandelor, a profilelor mici etc.;

țagile sau bilete cu secțiunea pătrată, latura fiind între 40 și 100 mm; servesc la laminarea profilelor mici;

țagile plate sau slaburi cu secțiunea dreptunghiulară, grosimea fiind peste 30 mm; servesc la laminarea tablelor;

platinie, care au secțiunea dreptunghiulară și grosimea 8—30 mm; se folosesc la fabricarea tablelor foarte subțiri.

b. Lamine finite din oțel

Laminele folosite la alcătuirea construcțiilor metalice se pot grupa în: table groase, platbarte, profile (cornere, profile U, profile dubla T etc.) și țevi.

Fiecare din acestea se laminează în dimensiuni variate. O variație mare în forma și dimensiunile laminatelor prezintă avantajul că permite realizarea unor elemente de construcție cu un consum de material mai redus; un sortiment de laminate prea variat duce la un număr mare de calibre de laminare. Pe de altă parte, folosirea unui număr mare de tipuri și cu dimensiuni prea variate îngreuează execuția construcțiilor metalice.

Un sortiment de laminate prea redus complică proiectarea și uzinarea construcțiilor și duce la o alcătuire neeconomică.

Formele și dimensiunile laminatelor sînt standardizate și uzinele nu execută alte tipuri și dimensiuni decît cele standardizate.

Tablele groase, numite și *tole*, se laminează în grosimi începînd de la 5 mm; lățimea este între 800 și 3 000 mm, iar lungimea poate ajunge pînă la 15 m și chiar mai mult, cu condiția ca greutatea tablei să nu depășească 20 t.

Tablele groase sînt laminate în două sensuri. În general sînt livrate în stare în care rezultă din laminare. În această stare nu pot fi folosite dect la construcții nituite și la construcții sudate obișnuite; la construcții sudate importante trebuie folosite table normalizate. Cele mai multe prescripții prevăd ca tablele de orice grosimi să fie normalizate, dacă se folosesc la construcții cu solicitări importante și mai ales cu solicitări variabile sau dinamice.

Platbandele au lățimea între 150 și 600 mm; lungimea de fabricație este pînă la 12 m. Sînt laminate într-un singur sens la laminare universale, care au, pe lângă cilindrii orizontali, și cilindrii verticali. În mod obișnuit se livrează nenormalizate; pentru construcții sudate este recomandabil ca platbandele cu grosimi peste 20 mm să fie normalizate.

Astăzi se folosesc, în locul platbandelor, piese de lățimea necesară tăiate din table groase, folosindu-se dispozitive de tăiere cu flacără oxiacetilenică automată sau semiautomată.

Oțelul cornier se laminază cu aripi egale și cu aripi neegale (fig. II.4). Cornierile cu aripi egale, laminate la noi, au lățimile aripiilor de 20—160 mm; pentru o aceeași lățime de arpi se laminază 1—3 grosimi diferite. La cornierele cu aripi neegale dimensiunile laturilor variază între 30×20 și 150×100 mm.

Lungimea de fabricație a cornierelor este pînă la 12 m.

Oțelul U este un profil cu o inimă și două tălpi (fig. II.5) cu o singură axă de simetrie.

Înălțimea h a profilului laminat la noi este de 50—300 mm; lungimea de fabricație este pînă la 15 m.

Profilul U se folosesc pentru alcătuirea pieselor cu secțiune compusă și la acoperșuri, ca pane.

Oțelul dublu T sau I este un profil cu două axe de simetrie (fig. II.6). Profilul dublu T laminat la noi au înălțimea h de la 80 la 400 mm și sînt de tip normal; în diferite țări se laminază profile I cu caracteristici mai

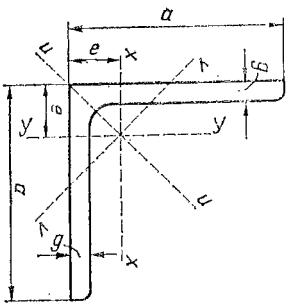


Fig. II.4. Corniere

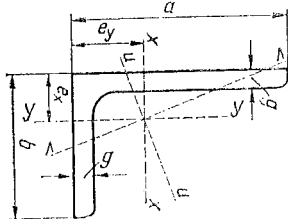


Fig. II.5. Oțel U.

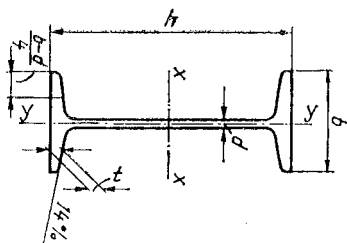
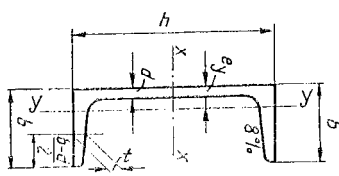
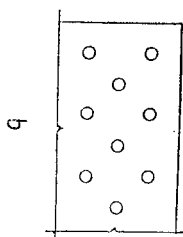
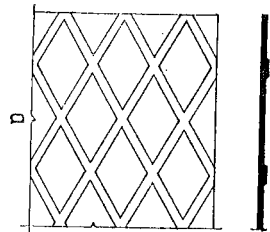


Fig. II.6. Oțel I.

Fig. II.7. Table strate și găurite:
a — tablă strată; b — tablă găurită.

avantațioase: profile cu tălpi late, profile economice cu materialul repartizat mai bine între inimă și tălpi etc. Se dă astăzi o atenție deosebită profilelor economice, ale căror dimensiuni sînt astfel alese încît raportul W/A să rezulte cît mai avantajos. În țara noastră se laminază astfel de profile de tipul I și U.

Lungimea de laminare a profilului dublu T este pînă la 15 m.

Fevile pentru construcții se fabrică din OLT 35 și OLT 45. Diametrul exterior variază între 25 și 530 mm, iar grosimea peretelui de la 2,5 la 36 mm. Lungimile normale de livrare sînt pînă la 12,5 m.

La elemente auxiliare din construcții se mai folosesc:

Tablele stricate (fig. II.7, a) au pe una din fețe preeminențe încrucișate și grosimea tablei între 5 și 10 mm.

Tablele găurite au fețele plane (fig. II.7, b).

Tablele ondulate, care se livrează de obicei zincate (fig. II.8).

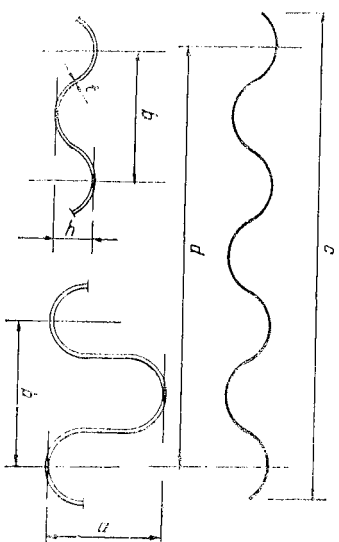


Fig. II.8. Tabla ondulată.

3. PRODUSE DIN ALIAJE DE ALUMINIU

Produsele din aliaje de aluminiu, folosite la construcțiile metalice, se obțin prin laminare la cald și prin extrudare. Profilele laminate la cald sînt

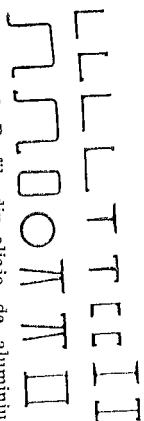


Fig. 11.9. Profile din aliaje de aluminiu extrudate.

forme, mai raționale pentru acest material. Extrudarea este folosită în general în cazul profilelor mici și mijlocii, produse din aliaje moi. În fig. 11.9 sînt arătate unele profile care se obțin din aliaje de aluminiu prin extrudare.

folosite la construcțiile metalice, se de tipul celor fabricate din oțel: table groase și subțiri, corniere, profile dublu T și U. Prin laminare se produc table groase și profile mari, îndeosebi din aliaje dure. Prin extrudare, procedeu folosit pe scară largă în cazul elementelor din aliaje de aluminiu, pe lângă formele obținute prin laminare, se fabrică și alte

III. STRUCTURA METALELOR

1. STRUCTURA CRISTALINĂ A METALELOR

a. Atomul și legăturile dintre atomi

Metalele, în stare solidă, sînt corpuri cristaline. Starea cristalină este caracterizată printr-o așezare ordonată a atomilor în spațiu.

Atomul, considerat multă vreme ca cea mai mică particulă indivizibilă de materie, este un element complex, compus din particule de materie. Aproape întreaga masă a atomului este concentrată în *nucleu*, care are o densitate foarte mare; în jurul nucleului este un înveliș, mult mai puțin dens, format din *electroni*.

Electronii sînt încărcăți cu electricitate negativă, sarcina electrică a unui electron fiind $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombi; electronii poartă cea mai mică cantitate de electricitate negativă. Atomul, din punct de vedere electric, este neutru; nucleul are o sarcină electrică pozitivă egală cu suma sarcinilor electrice a electronilor, adică $Z \cdot e$, Z fiind numărul electronilor. Numărul Z de electroni din atom este egal cu numărul de ordine al elementului din sistemul periodic al lui Mendeleev.

În unele situații atomii pot pierde electroni și devin pozitivi sau pot primi electroni și devin negativi; rezultă elemente numite *ioni*.

Atomul are o alcătuire complexă; nucleul este compus din particule grele, cu sarcină pozitivă, numite *protoni* și alte din particule grele, neutre din punct de vedere electric, numite *neutroni*. Spațiul ocupat de atom este în cea mai mare parte gol, numai o parte infimă fiind ocupată de particulele materiale: nucleu și electroni.

Cunoștințele actuale despre atom, bazate pe mecanica cuantelor, sînt foarte dezvoltate și permit rezolvarea pe cale matematică a numeroase probleme privind construcția atomului.

Dimensiunile atomilor, presupuși a avea forma unei sfere, caracterizate prin razele sferei lor, prezintă o importanță deosebită pentru studiul unor probleme în metalurgie.

Raza unui atom se măsoară în ångströmi ($1\text{Å} = 10^{-8}$ cm).

Legătura între atomii metalelor este o caracteristică a acestora și poartă denumirea de *legătură metalică*. Între atomii rețelei cristaline (între ioni) există o cantitate de electroni comuni ionilor vecini, de o anumită densitate, cu att mai mare cu cît atomii au mai mulți electroni periferici, de care se pot despărți (electroni de valență). Legătura nefiind fixă, ei prin rezonanță,

diferite legături între electroni se desfac și se refac continuu și în așa mod încît repartiția electronilor între diferiți ioni să fie egală.

Electronii care, statistic, sînt egali repartizați între ioni pozițivi ai metalului, asigură prin forțele de atracție o legătură puternică, legătura metalică.

b. Rețeaua cristalină a metalelor

În stare solidă metalele au o structură cristalină, caracterizată printr-o așezare a atomilor în spațiu foarte ordonată. Într-un cristal fiecare atom este înconjurat de alți atomi identici, așezați la distanțe egale; atomii metalelor se așază cît mai aproape unii de alții.

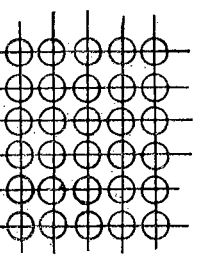


Fig. III.1. Așezarea atomilor.

În fig. III.1 este arătată așezarea atomilor într-un plan, liniile trecînd prin centrele atomilor fiind imaginare. Dacă se imaginează această rețea plană repetată la distanțe egale, se obține o rețea cristalină spațială, atomii sau mai bine zis ioni fiind așezați în nodurile rețelei. O astfel de rețea este bine determinată prin celula cristalină elementară, care constituie edificiul cel mai mic de atomi.

Metalele cristalizează în sistem cubic cu volum centrat, în sistem cubic cu fețe centrate și în sistem hexagonal (fig. III.2); în sistemele cubice atomii ocupă vîrfulurile cubului și centrul cubului, respectiv centrele fețelor.

Parametrii celulei cristaline sînt latura a , a cubului și latura a , respectiv înălțimea c , în sistemul hexagonal. Între parametrii celulei cristaline și diametrul atomilor metalului, considerăți sferice așezate tangent între ele, există relații bine determinate (fig. III.3). Astfel, pentru sistemul cubic cu volum centrat $d = a\sqrt{3}/2$, iar pentru sistemul cubic cu fețe centrate $d = 2l/\sqrt{2}$.

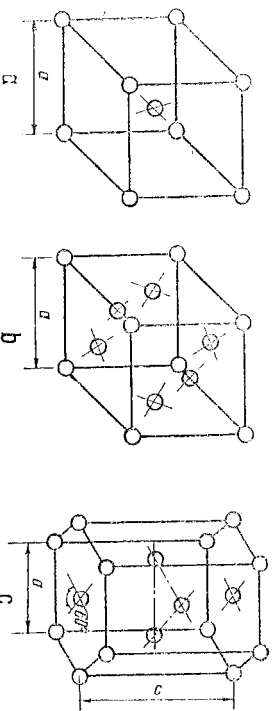


Fig. III.2. Tipuri de rețele cristaline: a — cubic cu volum centrat; b — cubic cu fețe centrate; c — hexagonal.

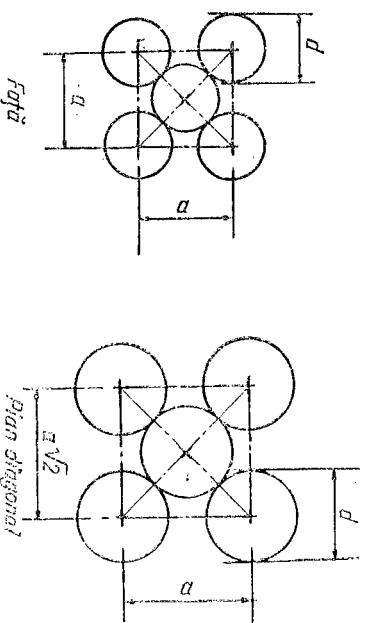


Fig. III.3. Relații între diametrul atomului și parametrul celulei.

Numărul de atomi care revine unei celule este diferit după sistem. Este ușor de dedus că în cazul unei rețele în sistem cubic cu volum centrat, fiecare celulă are $\frac{1}{8} \cdot 8 + 1 = 2$ atomi, iar o celulă cu fețe centrate are

$$\frac{1}{8} \cdot 8 + \frac{1}{2} \cdot 6 = 4 \text{ atomi.}$$

Proprietățile metalelor depind de legăturile dintre atomi și acestea sînt influențate de numărul atomilor care se găsesc la distanțe egale de orice atom apropiat.

c. Cristalizarea primară și transformări în stare solidă

Trecerea unui metal din stare topită în stare solidă se face prin cristalizare; în stare lichidă așezarea atomilor este dezordonată. Formarea rețelei cristaline începe să se producă la o temperatură proprie fiecărui metal. Pe măsură ce metalul lichid se răcește, se ajunge la o temperatură sub care energia liberă a stării solide să fie mai mică decît a stării lichide; în această situație starea solidă este mai avantajoasă și se produce cristalizarea.

Practic, pentru a se putea produce cristalizarea, este necesar să se producă o subrăcire, adică o scădere a temperaturii ceva sub temperatura teoretică de cristalizare. În fig. III.4 se arată cum variază temperatura în funcție de timp; în momentul cristalizării se produce degajare de căldură care compensează și depășește în general pierderea de căldură prin răcire. La topline fenomenul este invers.

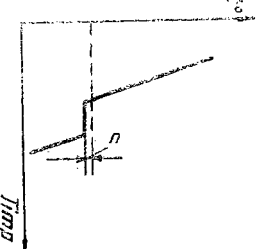


Fig. III.4. Curba răcirii la cristalizare.

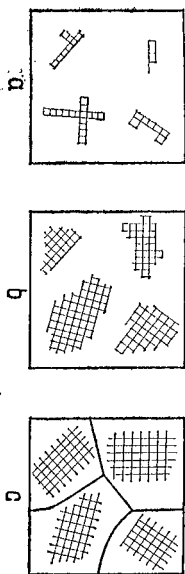


Fig. III.5. Schema cristalizării:
a - început; b - avansat; c - final.

Procesul de cristalizare începe prin formarea unor particule mici de cristale în diferite locuri ale substanței lichide, numite *centre de cristalizare*; pe măsura scăderii temperaturii, cristalele se măresc și apar noi centre de cristalizare (fig. III.5).

La începutul cristalizării se mărește atât numărul centrelor de cristalizare, cât și dimensiunile cristalelor; pe măsură ce se măresc cristalele se reduce volumul părții lichide, cristalele încep să vină în contact între ele și procesul de cristalizare se încetinește. Când încep să ia contact diferitele cristale, rezultând la sfârșit forme cu contururi de nereglate. Mărimea cristalelor depinde în mare măsură de viteza de cristalizare; la o subrăcire mică viteza de creștere a cristalelor este mai mare, iar la o subrăcire mare se mărește numărul centrelor de cristalizare și rezultă cristale mici. La o subrăcire mare mobilitatea atomilor scade și aceasta poate influența atât viteza de creștere a cristalelor cât și viteza de apariție a centrelor de cristalizare. Cristalizarea este influențată și de alte elemente; diferite incluziuni, mici particule nedizolvate formează centre de cristalizare; cristalele se dezvoltă mai repede, atingându-se în direcția de propagare a căldurii.

În cristale atomii sînt așezați reguțat; pe marginile cristalelor există zone cu deranjări ale rețelei, cu goluri și deformări. Datorită acestui fapt la limitele grăunțurilor se separă unele impurități. Este indicată structura cu grăunți fini, reparțizarea impurităților în masa metalului fiind mai uniformă.

Transformări ale sistemului de cristalizare au loc și în stare solidă. Un același metal la temperaturi diferite poate avea rețele de cristalizare de alte tipuri. Această proprietate a unor metale de a cristaliza în mai multe forme cristaline se numește *alotropie* sau *polimorfism*; în metalurgie sînt importante modificările alotropice provocate de temperatură. Formele alotropice se notează cu α , β , γ , δ etc., notația α fiind pentru temperatura cea mai joasă. Transformările alotropice se produc din cauză că o formă de cristalizare este în general stabilă într-un anumit domeniu de temperaturi; domeniile proprii celei de a doua forme de cristalizare sînt separate printr-o *temperatură de transformare alotropică*.

Transformările care au loc la răcire se face cu degalare de căldură, iar la încălzire cu absorbție de căldură (fig. III.6). Noile cristale care

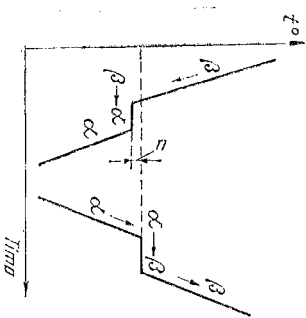


Fig. III.6. Curbe de răcire și încălzire și transformări alotropice.

se formează la răcirea unui metal în stare solidă la temperatura de transformare au o altă așezare a atomilor în rețea. Reașezarea atomilor, adică noile forme alotropice, încep să se producă în anumite centre de cristalizare și cristalele noi se dezvoltă în mod asemănător cu procesul de cristalizare din starea lichidă.

Sînt interesante formele alotropice ale fierului, care are două temperaturi de transformare alotropică, la 1390°C și la 906°C.

Cristalele care încep să se formeze din starea lichidă la o temperatură de 1528°C (punctul I, fig. III.7), au o rețea cubică cu volum centrat, care este stabilă pînă la temperatura de circa

1390°C. Această rețea este în sistemul α , dar fiind la temperatură înaltă se notează cu δ . La temperatura de 1390°C (punctul II) se produce transformarea alotropică a fierului δ în fier γ , care cristalizează în rețea cubice cu fețe centrate. Această stare este stabilă pînă la temperatura de 906°C (punctul III) cînd se produce o nouă transformare alotropică, formîndu-se cristale în sistemul cubic cu volum centrat, adică cristale α .

Sub temperatura de 906°C fierul mai suferă o transformare, însă nu de natură cristalină; la temperatura normală fierul α are proprietăți magnetice. Aceste proprietăți dispar complet la o temperatură de 768°C, numită *temperatura de transformare magnetică* sau *punctul Curie*. Uneori, în intervalul 768 ... 906°C, fierul α se notează cu β , deși nu intervin transformări de cristalizare.

2. STRUCTURA ALIAJELOR FIER-CARBON

a. Soluții și constituenți

Oțelul carbon este un aliaj binar, în care cele două componente sînt Fe și C; carbonul este principalul element de aliere al fierului. Carbonul are o influență însemnată asupra proprietăților fierului; fiecare procent de

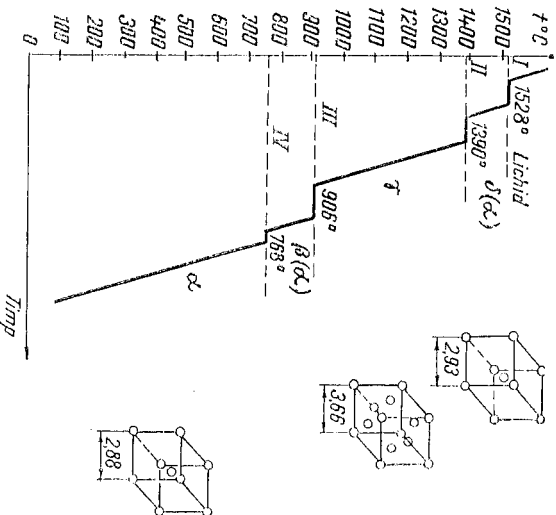


Fig. III.7. Curba de cristalizare a fierului la răcire.

0,1% C face σ , să crească cu 9 daN/mm², iar σ_c cu 4—5 daN/mm². Cu altele elemente, ca Mn și Si, o aceeași creștere se obține cu un procent de 1% de carbonul se găsește în fier sub formă de carbon curat sau sub formă de *cementită* (combinație chimică cu Fe).

Pe lângă carbon, aliajul Fe-C, conține și altele elemente însoțitoare: Si, Mn, P, S și chiar cantități mici de gaze, N, H, O etc., cum și multe incluziuni nemetalice; conținutul în aceste elemente este diferit, în general după modul de elaborare. După cum s-a arătat, dacă aceste elemente rămân în anumite limite, oțelul este considerat obișnuit (oțel carbon).

Aceste elemente însoțitoare influențează însă proprietățile oțelului și comportarea lui la îmbătrânire, cboseală, temperaturi scăzute etc. Carbonul și elementele însoțitoare sînt dizolvate de fier, formînd soluții solide.

Soluțiile solide apar frecvent și sînt caracteristice aliajelor metalice. În stare lichidă aliajele sînt omogene; în general, solubilitatea unor componente în alții se păstrează și în stare solidă într-o anumită măsură, rezultînd ceea ce se cheamă soluție solidă. Un aliaj în formă de soluție solidă se prezintă cu cristale omogene și cu un singur tip de rețea ca și metalele pure (fig. III.8). Soluțiile solide pot exista într-un anumit procent de concentrație. Soluțiile solide se formează deci prin dizolvarea în unul din componente a unuia sau mai multor elemente, astfel că într-un cristal intră, în anumite proporții, atomi ai tuturor elementelor. Soluțiile solide se pot forma prin *substituție* sau prin *pătrundere*.

Soluția de substituție este caracterizată prin înlocuirea atomilor din rețeaua cristalină a componentului de bază cu atomi ai altui element (fig. III.8, a). Pentru aceasta trebuie ca rețelele cristaline să fie identice la cei doi componente. O altă condiție este ca razele atomice ale celor două elemente să prezinte diferențe mici.

Pătrunderea unor atomi străini în rețeaua unui metal produce deranjamente ale rețelei. Dacă atomii elementului dizolvat sînt ceva mai mari ca ai elementului de bază, atunci se produce o lățire a rețelei cristaline și o

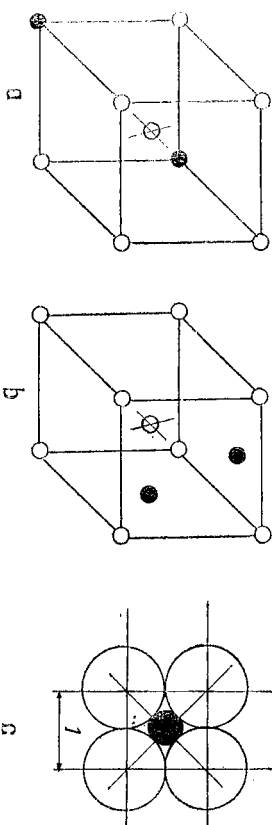


Fig. III.8. Soluții solide:
a — substituție; b și c — pătrundere.

acumulare de energie în rețea, ajungîndu-se, cînd diferențele sînt mai mari, la o stare instabilă, adică la limita de solubilitate; cînd atomii care pătrund sînt mai mici se produce o strîngere a rețelei. Dizolvarea în starea solidă a unor elemente în altele variază după elemente. În general solubilitatea este limitată la diferențe între razele atomilor pînă la $\pm 14\%$.

Soluția de pătrundere este caracterizată prin aceea că atomii străini ai elementului care se dizolvă pătrund în golurile rețelei cristaline ale metalului de bază (fig. III. 8, b și c). Aceasta nu se poate produce decît dacă atomii străini au raze atomice suficient de mici ca să se poată așeza în aceste goluri, cum sînt atomii metalelor cu învelșurile exterioare cu aceeași structură și atomii metalozilor cu raze mici (H, N, C, P). Pentru a fi posibilă pătrunderea, raportul razei atomului metaloidului față de raza atomului metalului trebuie să fie egal cu 0,59 sau mai mic. Pentru a se forma o soluție de pătrundere nu este necesar ca toate golurile să fie umplute cu atomi străini; pătrunderea se face după legea probabilității. Pot pătrunde în golurile rețelei cristaline și unii atomi cu raze mai mari decît cele indicate, dar în acest caz se produce o oarecare deformare a rețelei cristaline. Deoarece atomii intersticiilor deranjează puternic rețeaua de bază, solubilitatea prin pătrundere este mică.

În afara soluțiilor descrise mai pot exista și alte forme numite în general *faze intermediare*. În soluțiile solide atomii posedă proprietăți asemănătoare și raze atomice egale sau într-un anumit raport. În compunși intermetalici se formează o nouă rețea cristalină, diferită de a componentilor, elementele fiind legate prin *legături chimice* și prin *legături metalice*.

Fazele intermediare (compunși intermetalici) sînt combinații care pot fi situate între soluțiile solide și combinațiile chimice; sînt în general dure și casante.

b. Constituenții oțelurilor carbon și caracteristicile lor

În oțeluri și fonte se întîlnesc următorii constituenți:

Fierul este în procentul cel mai mare în compunerea unui aliaj fier-carbon. Starea α , existentă la temperaturile mai joase, este numită *ferită* și dizolvă carbonul într-o proporție foarte mică, pînă la maximum 0,02% la temperatura de +724°C, iar la temperatură normală conținutul de carbon este practic zero (fig. III.9).

Dacă se ține seama de parametrul rețelei cristaline cu cuburi cu volum centrat și de diametrul atomilor de fier, golurile sînt de 0,38 Å (fig. III. 10, a). Diametrul atomului de carbon este de 1,54 Å, astfel că în golul existent nu poate pătrunde un atom de carbon.

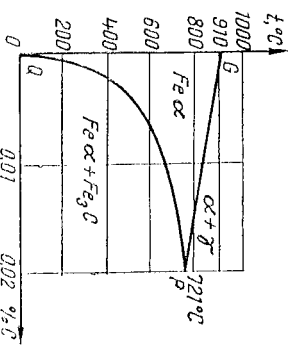


Fig. III.9. Carbon în fier α în funcție de temperatură.

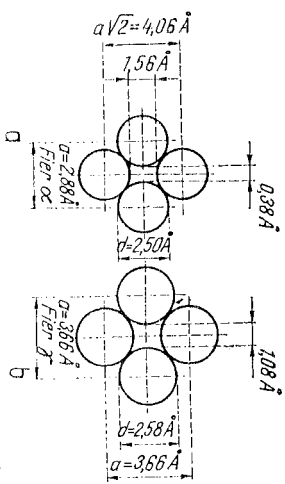


Fig. III.10. Diametrul găurilor în rețeaua de fier:
a — fier α ; b — fier γ .

oarecare măsură, astfel că ferita poate conține în soluție, în proporții reduse, și alte elemente, care de cele mai multe ori nu formează o soluție solidă stabilă. Starea γ , existentă la temperaturi ridicate, este numită *austenită*. Rețeaua cristalină a austenitei este cubică cu fețele centrate, cu parametrul $a = 3,66 \text{ \AA}$.

Diametrul golului în centrul cubului la fierul γ este de $1,08 \text{ \AA}$ (fig. III.10, b). Diametrul atomului de carbon liber de $1,54 \text{ \AA}$ se măsoară în cazul pătrunderii în rețeaua fierului până la circa $1,20 \text{ \AA}$, din cauza cedării electronilor periferici; în cazul fierului γ pătrunderea carbonului și formarea soluției solide este mai ușoară. Conținutul carbonului în fierul γ poate ajunge practic până la $1,7\%$.

Austenita este moale și plastică; se poate zgîria cu acul.

Cementita, care este un compus chimic de fier și carbon, conține $6,67\% \text{ C}$. Cementita are o rețea cristalină complicată; cristalinul de cementită este compus dintr-o serie de octaedri, cu axele orientate diferit. Atomii de carbon se află în centrul fiecărui octaedru. Legăturile între atomii de fier sînt metalice; între atomii de fier și carbon legătura are alt caracter metalic, cit și un caracter chimic.

Cementita nu suferă transformări alotropice; poate forma soluții solide de substituție, atomii de carbon fiind înlocuiți cu atomi de H și O, iar cei de fier cu atomi ai elementelor metalice, Mn, Cr, W. La aliajele fier-carbon de fier cu peste $4,3\% \text{ C}$ cementita se separă direct din faza lichidă și este numită *cementită primară*, iar cea care se formează în timpul transformărilor fazelor solide din soluția γ cu mai mult de $0,9\% \text{ C}$ se numește *cementită secundară*. În cazul cînd în urma procesului de răcire a rămas în fierul α carbon dizolvat într-o proporție mai mare decît $0,02\%$, acesta se separă de-a lungul curbei *QP* (v. fig. III.11) și formează cementită, care se depune la limitele cristalelor de ferită; această este numită *cementită terțiară*.

Cementita este compus dur, are o rezistență la rupere de $70-100 \text{ daN/mm}^2$, alungire foarte mică, de aproximativ 1% și proprietăți plastice practic nule.

Ferita este moale, foarte plastică; caracteristicile ei sînt:

$$\sigma_r = 25 \dots 36 \text{ daN/mm}^2, \quad \delta = 50\%$$

$$\sigma_c = 12 \text{ daN/mm}^2, \quad \delta = 50\%$$

$$\psi = 85\% \quad \text{și} \quad \text{HB} = 80.$$

O serie de elemente cu diametre atomice mai mici decît ale carbonului, cum sînt hidrogenul ($d=0,92 \text{ \AA}$), fosforul ($d=1,28 \text{ \AA}$), azotul ($d=1,42 \text{ \AA}$) și altele, pot pătrunde mai ușor în golurile rețelei de fier, deși tot forțat într-o

Perlita este eutectoidul aliajelor fier-carbon, fiind alcătuită dintr-un amestec mecanic de șase părți ferită și o parte cementită; conține în medie $0,85\% \text{ C}$. Perlita reprezintă starea de descompunere a austenitei la o răcire suficient de încaută; este un constituent normal al oțelurilor carbon, răcite înec.

Perlita se prezintă obișnuit sub forma unor lamele alternante de ferită și cementită cristalizate și dispuse paralel, cînd se numește *perlita lamelară*. În anumite condiții și în special din austenită neomogenă rezultă o *perlita globulară*, formată din cementită globulară și ferită; se formează prin răcire lentă sau prin recoacere de înmuiere.

Perlita este rezistentă, are $\sigma_r = 60 \dots 70 \text{ daN/mm}^2$ și alungiri de $5-20\%$; perlita lamelară este mai dură decît perlita globulară.

Transformarea austenitei în fier α , respectiv în perlită, se face destul de repede, dar totuși într-un timp oarecare. Dacă temperatura scade mai repede, amestecul de ferită și cementită capătă o structură mai fină și se numește *sovbită*; cînd viteza de răcire este mai mare, dispersia constituenților crește și mai mult, structura devine mai fină, căpătînd numele de *troostită*.

Cînd răcirea se face foarte repede, viteza de difuziune a carbonului devine neglijabilă și nu se mai poate face separarea în fier α și cementită; se obține o soluție suprasaturată de carbon în fier α , care se numește *martensită* și care este foarte dură.

Ledeburita este eutecticul aliajelor fier-carbon cu conținut mare de carbon; este un amestec de perlită și cementită. Se întîlnește în fonte. La temperaturi înalte conține austenită și cementită.

c. Diagrama fier-carbon

Fenomenele de cristalizare, care au loc în aliajele fier-carbon, în funcție de temperatură și conținutul de carbon, pot fi reprezentate într-o diagramă (fig. III.11). În figură este reprezentat sistemul $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ în care cristalizează aliajele fier-carbon curate. Pentru simplificare s-au omis transformările δ din zona punctului A din diagramă. Transformările fierului curat sînt reprezentate în diagramă de linia verticală *AQ*, iar ale aliajelor cu $6,67\% \text{ C}$ (cementită) de linia verticală *DL*.

În funcție de conținutul de carbon, aliajul fier-carbon este lichid la temperaturile de deasupra liniei *ACD*; sub această linie de temperaturi aliajul este un amestec eterogen de cristale solide și lichid; sub linia *AECF* (linia solidus), aliajele sînt complet cristalizate și solide. În lungul liniei *AC* se separă soluția solidă γ (austenită), cu excepția unei mici porțiuni aproape de A, unde se separă soluția δ (pînă la $0,36\% \text{ C}$); soluția solidă γ cristalizează ca și fierul γ în rețele cubice cu fețe centrate. În lungul liniei *CD* se separă cristale de Fe_3C (cementită primară).

Sub linia *AE* aliajul, complet solid, este format din soluție solidă γ , a cărei conținut de carbon poate ajunge pînă la $1,7\%$ în punctul E. Linia

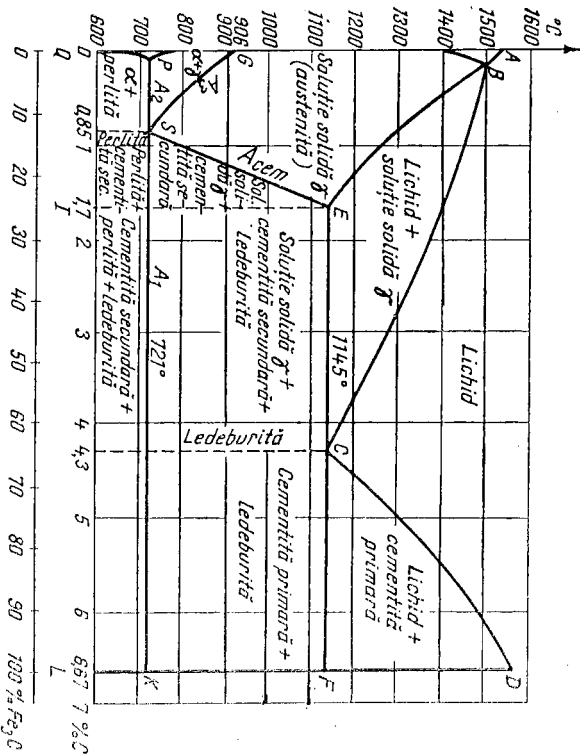


Fig. III-11. Diagrama fier-carbon.

verticală EI împarte diagrama în două domenii; aliajele din stînga se numesc *oțeluri*, iar cele din dreapta *fonte*.

Sub linia GS se găsește un amestec de fier α și soluție solidă γ .

Pe linia SE începe să se producă separarea soluției solide γ în cementită (secundară), astfel că sub această linie se găsește un amestec de cementită secundară și soluție solidă γ .

Pe linia PSK au loc transformări în funcție de conținutul de carbon, și anume: pînă în punctul S , din soluția solidă γ se separă fier α ; soluția solidă γ cu 0,9% C se descompune la $+724^\circ\text{C}$, formîndu-se perlită; aliajul conține cu atât mai multă cementită cu cît conținutul de C se apropie de 0,9%; în punctul S , corespunzător unui conținut de C de aproximativ 0,9%, aliajul conține numai perlită; în acest punct soluția solidă γ se descompune într-un amestec fin de soluție solidă și compusul fier-carbon Fe_3C (amestec eutectoid).

Mai departe, pînă la un conținut de 1,70% C, soluția solidă γ rămăsă în urma formării treptate a carburii de fier, conține la $+724^\circ\text{C}$ numai 0,9% C și se descompune eutectoid în perlită. În zona cu 0,9% pînă la 1,70% C sub linia de temperatură $+724^\circ\text{C}$ se găsește un amestec de cementită secundară și perlită.

Pe diagrama fier-carbon sînt notate și punctele critice de transformare A_1 , A_2 , A_3 și A_{cm} ; temperaturile corespunzătoare acestor puncte au valori

diferite într-o măsură oarecare la încălzire și răcire, în cele două cazuri folosindu-se notațiile A_{c1} , A_{c2} , A_{c3} , $A_{c_{cm}}$, respectiv A_{r1} , A_{r2} , A_{r3} și $A_{r_{cm}}$ unei încălziri foarte lente; elementele de aliere produc deplasări importante ale punctelor critice.

3. STRUCTURA OȚELURILOR ALIATE

a. Generalități

Oțelurile aliate conțin unul sau mai multe elemente de aliere adăugate voit; se deosebesc oțeluri slab aliate și oțeluri bogat aliate sau simplu *oțeluri aliate*.

Oțelurile aliate, cu unele excepții, conțin aceeași constituență structurală ca și oțelul carbon: ferrită, austenită, carburi etc. Soluția solidă și carbura de fier conțin însă în stare solidă și anumite cantități din unele elemente de aliere; unele elemente ca Ti , V , formează cu carbonul carburi speciale, iar și de concentrație. Limile și punctele de echilibru din diagrama fier-carbon se deplasează. Unele din elementele de aliere au tendința de a trece în masa parțial Mn au tendința de a forma carburi. Conținutul de carbon influențează mărimea și forma carburii; la un conținut mai mic de carbon se formează mai puține carburi și deci masa de bază este mai bogată în elemente de aliere; din aceasta rezultă și un mod diferit de comportare a oțelurilor aliate.

b. Oțeluri slab aliate

Oțelurile slab aliate au în general proprietăți asemănătoare celor ale oțelurilor carbon, dar îmbunătățite, după felul elementului de aliere. Astfel, la un conținut scăzut de carbon (sub 0,22%) oțelurile slab aliate de exemplu cu Mn, prezintă o rezistență de rupere și o limită de curgere mai ridicată cu 20 la 50%; față de oțelul marca OL 37 și o tenacitate foarte bună.

Oțelurile slab aliate, avînd o serie de calități superioare oțelurilor carbon, sînt folosite larg la construcții metalice sudate sau îmbinate cu alte mijloace. Sînt oțeluri calmate și normalizate; sînt dezoxidate cu aluminiu (pînă la 0,12%) pot fi folosite la temperaturi foarte scăzute, -30°C și chiar mai jos.

c. Oțeluri aliate

Oțelurile aliate sînt mai rar folosite la construcții, dar în unele cazuri speciale sînt indicate datorită calităților pe care le au unele din aceste oțeluri de a rezista la coroziune, temperaturi ridicate etc.

Oțelurile aliate rezistente la coroziune (inoxidabile) rezistă bine la coroziune în aer, în apă și chiar la unele soluții acide sau bazeice în anumite concentrații. Se obțin oțeluri inoxidabile prin alierea cu cel puțin 12% crom. Un oțel inoxidabil cu o utilizare largă este oțelul aliat cu 18% Cr și aproximativ 8% Ni.

Oțelurile aliate, rezistente la temperaturi înalte, pot avea rezistență chimică, rezistență mecanică bună sau au ambele proprietăți.

Oțelurile cu rezistență chimică ridicată au proprietatea de a nu se oxida la temperaturi înalte. În general aceste oțeluri conțin Cr, Al, Si; conținutul de Cr este în funcție de temperatură (de exemplu 5% pentru temperatura de 700°C, 7%, pentru 800°C, 15% pentru 900°C).

Oțelurile aliate cu rezistență mecanică mare la temperaturi înalte se compoartă diferit după structură, elementul de aliere și viteza de aplicare a încălzirii.

Pentru temperaturi între 350°C și 500°C oțelurile se aliază cu Cr, Si, și Mo și sînt oțeluri feritice sau perlitice. Pentru temperaturi între 500°C și 650°C se folosesc oțeluri austenitice aliate în principal cu Cr, Ni și Mo. La temperaturi mai înalte este necesar un procent foarte ridicat de Ni sau se face alierea și cu Co, de asemenea în procent mare.

Asemenea oțeluri sînt oțeluri scumpe și au utilizări în special la construcțiile de mașini.

4. STRUCTURA ALIAJELOR DE ALUMINIU

Aluminiul pur cristalizează în rețea cubică cu fețe centrate; atomul de aluminiu are raza egală cu 1,43 Å, iar latura cubului este egală cu 4,04 Å. Nu prezintă stări alotropice. Aluminiul tehnic conține cantități mici de Fe, Si, Cu; aceste elemente sînt puțin solubile în aluminiu în stare solidă. O solubilitate mai mare o au Mg și Zn (fig. III.12).

Din cauza temperaturii de topire joasă, aluminiul are o capacitate redusă de a forma soluții solide cu alte metale. Elementele principale de aliere ale aluminiului sînt: Si, Cu, Mg și Mn; se întâlnesc în aliajele de aluminiu și alte elemente ca Zn, Fe etc.

Aliajele Al-Si (siluminuri) sînt folosite la turnarea pieselor; se sudază bine prin proceduri oxidacelele. În fig. III.13 este prezentată diagrama de echilibru aluminiu-siliciu. Se obține o structură bună prin adăugarea în topitură de 0,1% Na.

Aliajul Al-Cu are o foarte bună rezistență. Diagrama de echilibru este prezentată în fig. III.14.

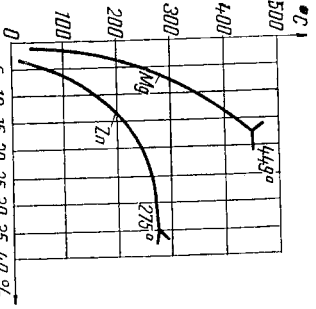


Fig. III.12. Solubilitatea Mg și Zn.

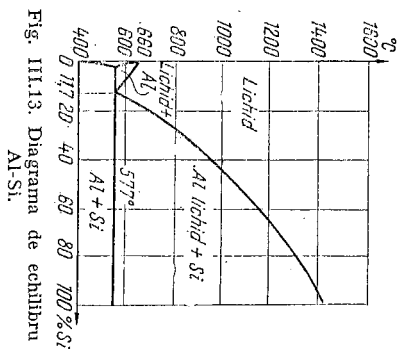


Fig. III.13. Diagrama de echilibru Al-Si.

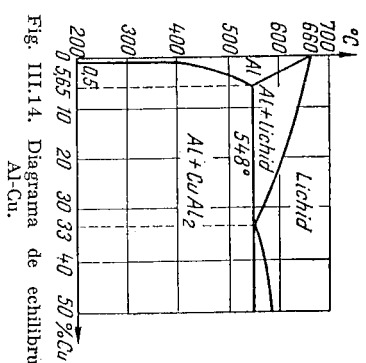


Fig. III.14. Diagrama de echilibru Al-Cu.

Aliajul Al-Mg este folosit atît pentru deformări plastice, cit și pentru turnare; are o foarte mare rezistență la coroziune. Diagrama de echilibru Al-Mg este prezentată în fig. III.15.

Aliajul Al-Mn este folosit, în general, pînă la un conținut de 2% Mn; cu un conținut sub 1,5% Mn este utilizat deseori în locul aluminiului pur, prezentînd o rezistență mecanică mai mare și o rezistență la coroziune mai bună. Diagrama de echilibru este prezentată în fig. III.16.

Aliajele de aluminiu complexe conțin mai multe elemente de aliere, adăugate în mod voit și în anumite proporții pentru a se obține o ridicare a caracteristicilor mecanice, o rezistență la coroziune mai bună sau alte proprietăți. La construcții se folosesc de obicei aliajele complexe Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg și Al-Zn-Mg.

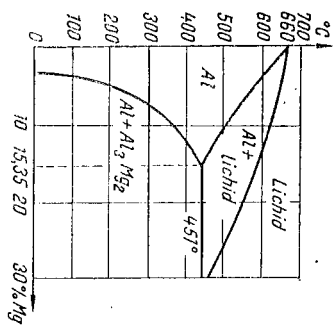


Fig. III.15. Diagrama de echilibru Al-Mg.

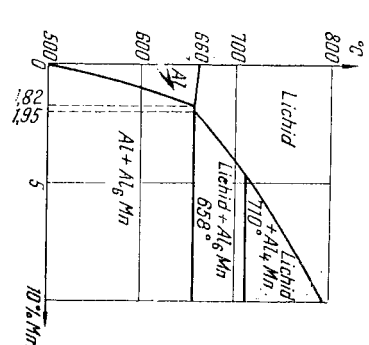


Fig. III.16. Diagrama de echilibru Al-Mn.

5. RECRISTALIZAREA

Un metal deformat la rece, datorită deformării rețelei cristaline și stărimării cristalelor intervenite în domeniul plastic, prezintă o structură nestabilă. Prin deformarea la rece se creează o stare de tensiune internă care se manifestă prin mărunta dunității, ridicarea limitei de curgere, a rezistenței de rupere și micșorarea alungirii și a rezistenței. Această stare se micșorează în măsura în care crește temperatura și dispare complet la o anumită temperatură, proprie fiecărui metal.

În cazul încălzirii unei piese metalice, deformate plastic, viteza de difuziune a atomilor crește și deranjamentele rețelei provocate de formațiile plastice dispar, reîncându-se rețeaua inițială; refacerea rețelei poartă numele de *regenerare*. Regenerarea rețelei la oțel începe la $+200 \dots 250^\circ\text{C}$; în intervalul de temperatură de regenerare a cristalelor nu apar modificări de structură.

Dacă temperatura se ridică, mobilitatea atomilor crește și începe refacerea cristalelor, modificându-se structura rezultată din deformarea plastică. Are loc ceea ce se numește *recristalizare*. Prin recristalizare caracteristicile mecanice revin practic la valorile pe care materialul le avea înainte de deformarea plastică.

Temperatura la care se produce recristalizarea este aproximativ $0,42 t_p$, în care t_p este temperatura de topire, în grade Kelvin (măsurate de la zero absolut). Pentru fier temperatura de recristalizare este peste $+500^\circ\text{C}$; pentru aluminiu această temperatură este peste $+150^\circ\text{C}$. Într-o primă fază, până la aproximativ 600°C la fier, se formează cristale noi mici; este *recristalizarea primară*. Peste această temperatură cristalele mici se unesc în cristale mari rezultând o structură grosolană; are loc *recristalizarea secundară*.

Temperatura la care începe recristalizarea este cu atât mai joasă cu cât gradul de deformare a fost mai mare; de asemenea, grăunții cristalelor noi sînt cu atât mai mici cu cât deformarea prealabilă a fost mai puternică.

6. ÎMBĂTRÎNIREA

a. Fenomenul de îmbătrînire

Îmbătrînirea este un proces în urma căruia unele din proprietățile metalului se modifică de obicei în mod lent. Când îmbătrînirea se produce fără intervenția omului, la temperatura mediului ambiant, se numește *îmbătrînire naturală*; îmbătrînirea poate fi accelerată prin aplicarea unor tratamente corespunzătoare, cînd se numește *îmbătrînire artificială*.

Condițiile de îmbătrînire sînt specifice fiecărui material.

b. Îmbătrînirea oțelului

Fierul α poate dizolva cel mult $0,02\%$ C la temperatura de $+724^\circ\text{C}$; la temperaturi mai joase solubilitatea carbonului în fier α scade, iar la temperatura obișnuită procentul de carbon este foarte redus, cîteva mimi de procente. În cazul unei răcirii rapide, în oțel rămîne dizolvat un procent de carbon care poate atinge $0,02\%$. Soluția α devine suprasaturată în carbon; atomii de carbon se găsesc în rețea între atomii de fier.

În cazul unei răcirii lente carbonul se separă după linia de solubilitate cristalelor de ferită; această cementită, *cementita terțiară*, contribuie la fragilizarea oțelului.

Ferita saturată cu carbon nu este în echilibru stabil; atomii de carbon din această soluție au o oarecare mobilitate chiar la temperatura camerei și se deplasează în diferite zone ale rețelei.

Datorită acestui fapt apar tensiuni interne, valorile rezistenței cresc și se reduce tenacitatea.

Acest proces este caracteristic pentru oțelurile cu puțin carbon; cînd modificările se produc la temperatura camerei, îmbătrînirea are loc într-un timp îndelungat. Mobilitatea atomilor se mărește dacă temperatura crește; menținerea unui oțel, care conține ferită saturată, la o temperatură între $+50^\circ\text{C}$ și $+200^\circ\text{C}$ duce la manifestarea procesului de îmbătrînire într-un timp mai scurt, cu o temperatură este mai ridicată. Fenomenul de îmbătrînire, în general, este mai des întâlnit la oțelurile cu un conținut mic de carbon; practic, îmbătrînirea nu apare la oțelurile cu peste $0,20\%$ C.

Fenomenul de îmbătrînire este produs și de azot. Fierul α poate dizolva azot în proporții mici; la temperatura de $+590^\circ\text{C}$ dizolvă maximum $0,10\%$ (fig. III.17); la o răcire rapidă dacă fierul conține azot se formează o soluție suprasaturată de azot în fier α ; la o răcire lentă, sau în timp, azotul se separă în nitruură de fier, Fe_3N , care se depune sub formă de ace pe marginile cristalelor de ferită. Ca urmare, se manifestă procesul de îmbătrînire, însoțit de creșterea fragilității, oțelul devenind foarte sensibil la șocuri. La astfel de oțeluri rezistența de rupere și mai ales dunitatea cresc, iar reziliența scade, ceea ce se manifestă mai accentuat între $+200^\circ\text{C}$ și $+300^\circ\text{C}$ adică în zona fragilității la albastru.

Tendința de îmbătrînire a oțelurilor, atunci cînd o au, poate fi pusă în evidență prin accelerarea artificială a procesului de îmbătrînire.

Fenomenul de îmbătrînire poate fi provocat și prin deformarea plastică cînd are

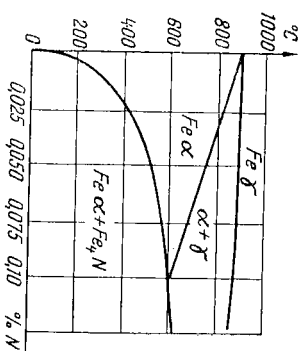


Fig. III.17. Solubilitatea azotului în fier.

loc îmbătrânirea mecanică. Și în acest caz este necesar însă ca soluția solidă α să conțină dizolvat carbon sau azot.

Se obține o accelerare a fenomenului de îmbătrânire dacă oțelul este supus în prealabil, la temperatura camerei, la o deformare plastică, de exemplu de 10% și apoi se menține un timp oarecare la o temperatură de $+250^{\circ}\text{C}$, o jumătate de ora. Epruvele de rezistență confecționate din acest material și încercate după 8—12 ore pun în evidență tendința de fragilitate a oțelului prin îmbătrânire.

c. Îmbătrânirea aliajelor de aluminiu

Cele mai multe aliaje de aluminiu întrebunțate în construcții își îmbunătățesc caracteristicile mecanice, fie în mod natural, fie în urma unor anumite prelucrări mecanice sau tratamente termice.

Îmbunătățirea calităților mecanice în mod natural se produce prin procesul de îmbătrânire la rece (la temperatura obișnuită).

Pentru ca acest proces să aibă loc este necesar ca aliajul să fie alcătuit, cel puțin într-o măsură oarecare, la temperaturi înalte din soluții solide omogene și ca aceste soluții, prin răcire rapidă să fie menținute în formă omogenă și suprasaturate și la temperaturi joase. O altă condiție este ca la răcire lentă soluția solidă să se separe în faze precipitate. Această proprietate care se manifestă cu ocazia descompunerii soluțiilor solide suprasaturate poartă în general denumirea de *durificare prin precipitare* (îmbătrânire) sau *maturizare*.

Pentru aliajele de aluminiu de construcții această proprietate prezintă o importanță tehnică deosebită.

Unele aliaje de aluminiu se durifică prin precipitare la temperatura camerei; are loc o *maturizare la rece*. Altele se durifică prin precipitare după ce au fost reîncălzite la temperaturi ceva mai mari; se produce o *durificare la cald*.

Se obține efecte cu atât mai bune, cu cât soluția solidă înainte de răcire a fost suprasaturată mai intens. Astfel, în cazul aliajului Al-Cu, care la temperatură de $+548^{\circ}\text{C}$ poate conține în soluție solidă omogenă aproximativ 5,7% Cu, iar la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ nu poate conține decât 0,5% Cu, se poate produce o durificare cu atât mai bună cu cât aliajul are un conținut de Cu peste 0,5% și mai apropiat de 5,7% (v. fig. III.14).

La maturizare naturală se ajunge la proprietăți maxime după 4—5 zile; viteza de maturizare în primele ore după răcirea bruscă este mică și este maximă într-un interval de 5—15 ore după răcire.

În fig. 4.12 este arătat procesul de maturizare la duraluminiu.

Durata de timp în care aliajul își păstrează după răcire proprietățile plastice poartă numele de *perioada de incubație* și este de 2—3 ore, dar diferită de la un aliaj la altul.

Viteza de îmbătrânire depinde foarte mult de temperatură, după cum se vede în fig. III.18. La temperaturi ridicate, în raport cu $+20^{\circ}\text{C}$, viteza de durificare crește, iar la temperaturi joase scade foarte mult; efectele durificării scad la temperaturi înalte; de asemenea la temperaturi foarte joase.

Durificarea naturală reprezintă o stare nestabilă; efectele durificării dispar dacă aliajul este menținut 2—3 min la o temperatură de $+200$ la $+250^{\circ}\text{C}$. Aliajul capătă însă din nou capacitatea de a se durifica, această situație putându-se repeta (fig. III.19). Acest fenomen poartă numele de *reversune*.

Îmbătrânirea naturală este influențată de compoziția aliajului și de impuritățile pe care le conține. Un aliaj Al-Cu cu 2% Cu, practic nu îmbătrânește, acest proces fiind insuficient pentru a influența sensibil proprietățile aliajului; un procent de 6% Cu, care corespunde aproximativ limitei de solubilitate a cuprului în aluminiu, conduce la o durificare maximă. Fierul, chiar în procente mici, influențează negativ efectul de durificare.

7. STRUCTURI DE LAMINARE

Metalele folosite în construcții sînt supuse după elaborare la diferite prelucrări la cald sau la rece. În timpul acestor operații materialul este deformat plastic și ca urmare structura rezultată se deosebește sensibil de cea anterioară deformării.

În cazul deformării plastice la rece apar la început *linii de alunecare*; fiecare cristal alunecă pe anumite plane cristalografice, proprii sistemului de cristalizare. Sistemul cubic de cristalizare prezintă posibilități de alunecare numeroase; metalele care cristalizează în acest sistem sînt ușor deformabile plastice.

Liniiile de alunecare, la început puține, devin mai numeroase pe măsură ce gradul de deformare plastică se mărește. În unele cazuri la unele metale se produc, în afară de simple alunecări, deformări plastice prin *maculare*

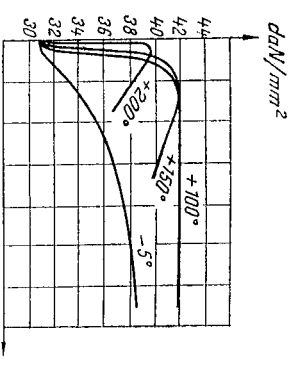


Fig. III.18. Procesul de îmbătrânire la diferite temperaturi.

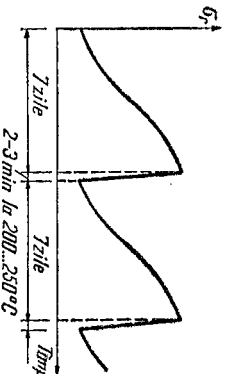


Fig. III.19. Fenomenul de reversune.

o parte din cristale răsturnându-se de-a lungul unui plan de macleare și ocupând o poziție simetrică reflectată față de restul cristalinului. În fierul α , dacă deformarea are loc prin șocuri la temperaturi joase, apar macle numite benzi Neumann.

Deformații prin macleare nu apar la aliajele de aluminiu; în cazul fierului α asemenea deformări pot apărea la solicitări prin șocuri la temperaturi joase.

În timpul deformărilor plastice intense, diferenți constituenți plastici se alungesc în măsura în care au proprietăți de tenacitate; constituenții fragili se sfărâmă, sfărâmăturile fiind apoi antrenate de aluneceare și așezate în șiruri după direcția de aluneceare.

În cazul prelucriilor la cald, plasticitatea metalului este mult mărită, astfel că structura sa este mai ușor modificată.

Prin prelucrirea la cald — laminare, forjare, presare, extruziune — materialul este compactizat, sulfurile, rețasurile mici, datorită presiunilor la temperaturi înalte sînt înclise și sudate, dacă pereții lor nu sînt oxidați sau, dacă sînt oxidați, sînt numai înclise.

Metalele cu structură grosolană capătă, în urma prelucrii la cald, o structură cu cristale mai mici. La trecerea prin laminor a unui lingou încălzit, grăunții sînt sfărmași; datorită temperaturii înalte, fenomenul de recristalizare este intens și grăunții se refac într-o măsură apreciabilă, făcând însă a atinge dimensiunile anterioare. La trecerile următoare procesul de deformare continuă, în final rezultînd grăunți mai mici. Această situație depinde însă și de temperatura la care se termină laminarea.

O altă consecință a deformării plastice la cald este apariția *structurii fibroase*, deoarece în general constituenții structurali care se alungesc nu sînt transformați la recristalizare în cristale mici. În special constituenții

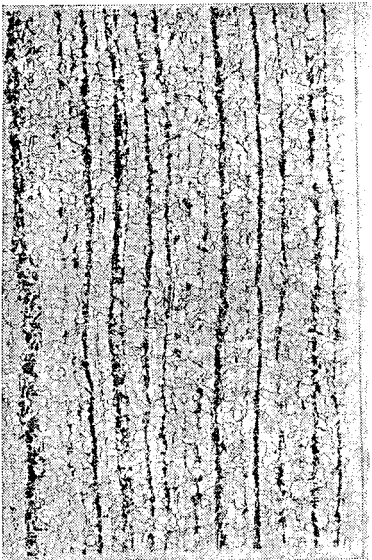


Fig. III.20. Structură stratificată.

rigizi, cum sînt zgururile, sînt înbiși, formînd benzi continue sau întrerupte (fig. III.20).

Deformarea la cald duce la o distribuție mai uniformă a cristalelor.

Segregările, ca urmare a prelucrii la cald, în general se mențin și după laminare. Segregările cristaline se omogenizează într-o oarecare măsură; pot fi însă întinse în benzi cu cristale mai sărace sau mai bogate în elemente de aliere.

Segregările zonale se mențin, sînt deformate și apar și în piesă rezultată, în mod asemănător sau diferit. În fig. III.21 sînt arătate unele defecte de segregare. Un defect care apare în unele cazuri, mai ales la laminare, îl constituie *suprapunerile*; părți proeminente din material pot fi îndoit și presate pe suprafețele vecine, de obicei oxidate, de care nu se mai leagă suficient. Între părțile suprapuse se poate interpune tunder, mai ales la lingurile insuficient curățate. Alte defecte pot consta în fisuri produse de sașuri superficiale, care în cursul trecerilor ulterioare prin laminor se propagă în interiorul piesei.

În general laminarea îmbunătățește calitățile mecanice ale oțelului; proprietățile mecanice sînt însă dependente de direcția de laminare, fiind mai bune în direcția de laminare decît transversal pe aceeași direcție.

În piesele laminate, ca o consecință a modului neuniform de răcire, apar eforturi, care uneori ating valori mari; aceste eforturi se echilibrează în volumul piesei și au direcția în sensul laminării. În fig. III.22 sînt arătate schematic eforturile produse de răcire la un profil dublu T. Asemenea eforturi se suprapun cu cele din solicitările exterioare și grăbesc sau întîrziesc trecerea în domeniul plastic a anumitor zone din secțiune.

În cazul aliajelor de aluminiu se pun, în general, la deformarea prin prelucri la cald, unele probleme deosebite.

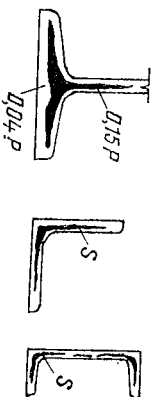


Fig. III.21. Defecte de segregare.

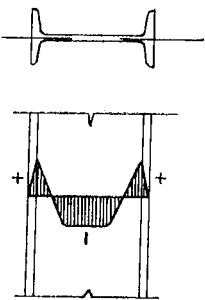


Fig. III.22. Eforturi remanente de răcire.

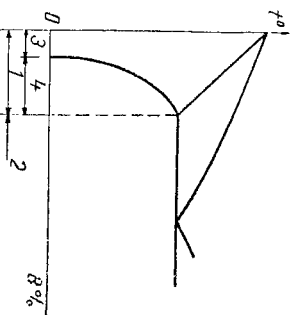


Fig. III.23. Aliaje laminabile și de turnătorie: 1 — laminabile; 2 — de turnătorie; 3 — nu se îmbunătățesc; 4 — se îmbunătățesc.

Se pot prelucra prin deformare la cald aliajele care conțin elemente de aliere sub limita de saturare a soluției solide la temperatura eutecticului (fig. III.23); dintre acestea, în funcție de elementele de aliere, se îmbunătățesc numai acelea care conțin elemente de aliere peste limita de saturare la temperatura obișnuită.

8. TRATAMENTE TERMICE

a. Tratamentele termice și scopul lor

Foarte multe din piesele metalice folosite astăzi în construcții sunt supuse unor oarecare tratamente termice. Astfel, tablele și plătbandele din clasele 3 și 4 se liversează în stare normalizată, iar cele din clasa 2, la cererea beneficiarului; de asemenea, profilele laminate din clasele 2, 3 și 4 se liversează la cerere, tratate termic. Piesele turnate și forjate, majoritatea sunt liverse îmbunătățite prin tratamente termice. Alte piese, cum sunt șuruburile de înaltă rezistență, sunt supuse la diferite tratamente termice.

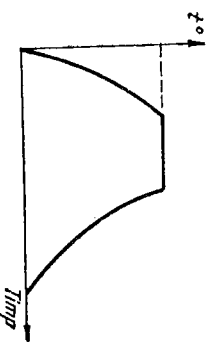


Fig. III.24. Curba tratamentului termic.

Tratamentele termice urmăresc să modifice proprietățile metalelor corespunzător unor anumite scopuri de utilizare. În timpul prelucrărilor care au loc la cald (turnare, laminare, forjare) și la rece (tragere, ambutsare, laminare la rece) se obțin structuri și stări de tensiuni remanente nedorite; caracteristicile mecanice ale metalelor rezultă deseori neconvenabile în urma unor prelucrări.

Tratamentele termice constau în principiu în încălzirea și răcirea la anumite temperaturi, obținându-se astfel modificarea dorită a proprietăților metalului.

În principiu, regimul unui tratament termic este caracterizat prin temperatura maximă la care este încălzit materialul, durata de menținere la temperatura de încălzire, viteza de încălzire și viteza de răcire. În fig. III.24 este arătată schema de principiu a tratamentului termic.

În practică, în general, procesele tratamentelor termice sunt mai complexe, depinzând de aliaj, de transformările care se urmăresc să se obțină etc. Modificările care se aduc unui aliaj printr-un tratament termic trebuie să conducă la proprietăți care se mențin în mod permanent.

b. Tratamentul termic al oțelurilor

Tratamentele termice care se aplică oțelurilor sunt:

Recocacerea, care constă în încălzirea pieselor de oțel la temperaturi convenabile pentru recristalizare și eliminarea tensiunilor interne. Oțelurile deformate la rece, care prezintă rețele cristaline deformate și cristale sfărâmate, încălzite și menținute un timp oarecare la temperaturi prescrise, își refac rețeaua cristalină și cristalele. După recocacere starea de echilibru nestabil în care se găsea aliajul dispare.

În alte cazuri, prin recocacere se urmărește să se obțină modificări de fază, adică de structură, chiar dacă această stare inițială este în echilibru; se obține o modificare a grăunțiilor, înlăturarea tensiunilor, repartizarea mai bună a incluziunilor etc.

Încălzirea unor piese de oțel peste A_{cs} și menținerea la această temperatură un timp suficient ca întreaga masă a piesei să se încălzească complet, produce modificări de fază și prin răcire înceată se obține o structură în echilibru la temperatura normală. Dacă încălzirea se face mai sus de A_{cs} , dar mai jos de A_{cs} , nu se mai produce o recristalizare completă și are loc o *recocacere incompletă*.

Când încălzirea se face ceva peste A_{cs} și răcirea are loc în aer liber, tratamentul termic se numește *normalizare*.

Călirea constă în încălzirea aliajului peste punctul critic de transformare, după care este răcit brusc. Prin încălzirea peste punctul critic au loc transformări structurale, iar la răcire, în funcție de viteza de răcire, se poate ajunge teoretic la o stare caracteristică temperaturilor înalte; are loc ceea ce se cheamă *călirea reală*, care constă în formarea structurii *martensitice*, cu menținerea carbonului în soluția solidă.

În sens mai general călirea nu este cea reală, ci se face astfel încât să se obțină și unele stări de echilibru la temperatura obișnuită.

Revenirea este un tratament termic care se aplică oțelurilor călite; încălzirea se face sub punctul A_{c1} și răcirea ceva mai înțe la început și apoi mai înțe. Temperatura de încălzire, menținerea la această temperatură, viteza de răcire și altele sunt elemente care se aplică în funcție de aliaj, scopul urmărit, natura și destinația pieselor etc.

Tratamentele termice sunt aplicate pe o scară mare în industria construcțiilor de mașini; gama de tratamente termice și modul lor de aplicare sunt studiate și precizate amănunțit deoarece rezultatele ce trebuie obținute depind de numeroși factori și de modul corect de procedare.

La construcțiile de clădiri, unde se folosesc elemente metalice, este deseori folosită normalizarea.

c. Normalizarea oțelurilor de construcții

Normalizarea este un tratament termic care constă în încălzirea pieselor la o temperatură cu 30 la 50°C deasupra punctului A_{cs} , urmată de răcire în aer liniștit. Piesele sunt menținute la temperatura de încălzire un timp suficient pentru a se încălzi uniform și în toată masa.

Normalizarea se aplică numai oțelurilor carbon și oțelurilor slab aliate. Oțelurile carbon cu conținut mic de carbon (sub 0,30%), capătă după normalizare a structură ferito-perlitică.

Structura care se formează la normalizare este cu atât mai fină și mai uniformă cu cât temperatura de încălzire este mai apropiată de A_{cs} , durata de menținere la această temperatură este mai scurtă și răcirea se face mai repede. Dacă răcirea tablelor și profilelor laminate se face foarte înțe,

se formează structuri în şiruri. La piesele cu secţiune mare, zonele exterioare se răcesc mai repede şi rezultă cu o granulaţie mai fină decât aceea a zonelor interioare.

Laminătele din oţel normalizat au o tenacitate şi rezilienţă mai bune decât cele livrate în stare de laminare; rezistă mai bine la oboseală şi la solicitări dinamice. Astăzi la construcţii importante, greu solicitate, în general sudate, se folosesc table şi profile laminate normalizate.

d. Oţeluri cu rezistenţe foarte mari, obţinute prin tratamente termice

Prin unele adaosuri de aliere şi cu tratamente termice corespunzătoare s-au fabricat în ultimul timp oţeluri numite ultrarezistente, care au rezistenţe la rupere de peste 100 daN/mm², o mare tenacitate şi în acelaşi timp o foarte bună aptitudine pentru sudare. Asemenea oţeluri pe lângă Mn şi Si, pe care le conţine oţelul marcat OL 52, au în plus în oarecare procente crom, molibden şi zirconiu; carbonul este sub 0,18%, iar sulful şi fosforul sub 0,002%.

Tratamentul termic aplicat constă în încălzirea la aproximativ +950°C, urmată de o răcire bruscă în apă (călire); se aplică apoi un tratament termic de revenire.

Se obţine o structură cu grăunţi fini şi o foarte bună rezistenţă la ruperi fragile, chiar în cazul temperaturilor foarte scăzute.

Se apreciază că astăzi industria siderurgică are posibilitatea să producă oţeluri care, după călire şi revenire, să atingă rezistenţe de rupere de 150—200 daN/mm² şi chiar mai mult. Asemenea oţeluri pot prezenta rezistenţe de rupere bune şi la temperaturi de +350 la +400°C şi o rezilienţă ridicată chiar la temperatura de -100°C.

e. Tratamentul termic al aliajelor de aluminiu

Aliajele de aluminiu pentru construcţii prezintă calităţi mecanice diferite atât în funcţie de compoziţia chimică, cât şi după felul prelucrărilor la care au fost supuse: tratamente termice, prelucrări mecanice. Pentru aceste motive, în cele mai multe cazuri este luată în considerare şi starea de livrare: ecruisat, semiecrusat, călit, revenit sau maturizat în stare naturală, moale etc.

Nu toate aliajele de aluminiu se pot îmbunătăţi prin tratamente termice. În primul rând, pentru a se manifesta o îmbunătăţire a proprietăţilor aliajelor, este necesar ca elementele de aliere să se găsească într-o proporţie egală sau aproape egală cu limita de solubilitate a elementului respectiv în soluţia solidă, la temperatura eutectoidului. Aliajele care conţin un element de aliere în proporţii corespunzătoare solubilităţii elementului la temperatură obişnuită sau puţin mai mult, nu sînt tratabile termic.

O altă condiţie este ca răcirea să se facă suficient de repede pentru a se putea menţine la temperatura obişnuită soluţia solidă suprasaturată.

În fine, şi compoziţia chimică prezintă importanţă; unele aliaje, cum sînt cele cu mangan sau magneziu, nu se durifică prin tratamente termice sau se durifică într-o măsură neînsemnată.

În cazul aliajelor binare (cu un element de aliere) nu sînt durificabile aliajele Al-Si, Al-Mg, Al-Mn, Al-Fe; sînt durificabile aliajele Al-Cu, care-şi măresc sensibili proprietăţile prin tratamente termice. Dintre aliajele complexe sînt tratabile termic aliajele Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si. *Durabilitatea* portii diferite Cu, Mg, Mn, Si şi mici cantităţi de Fe, constituie o grupă foarte răspîndită, care se durifică prin tratamente termice şi prin îmbătrînire naturală.

Tratamentele termice aplicabile aliajelor de aluminiu sînt:

Călitrea se face prin încălzire la o temperatură de +400 la +550°C, timp de 15—60 min, după aliaj şi după modul de prelucrare anterior (laminare, extrudare, forjare); durata de încălzire la elementele forjate este de regulă de mai multe ore. Răcirea se face repede în apă rece sau, în unele cazuri, încălzită; unele aliaje laminate se răcesc în aer.

Este de reţinut faptul că piesele din aliaje de aluminiu după călire îşi măresc rezistenţa de rupere după 4—5 zile prin îmbătrînire naturală.

În unele cazuri durificarea se face prin *revenire*, care constă în funcţie de compoziţie, în încălzirea după călire la temperaturi între +135°C şi +180°C, urmată de o răcire încetă; are loc o îmbătrînire artificială.

Tratamentul termic al aliajelor de aluminiu este un proces care are loc în două cicluri: călire urmată de îmbătrînire.

Omogenizarea este un tratament termic care se aplică în unele cazuri pieselor din aliaje de aluminiu spre a le îmbunătăţi structura. Piesele, după turnare sau laminare ori extrudare, se încălzesc timp îndelungat (8—15 h) la o temperatură ridicată cât mai aproape de limita solidus (540... 600°C). Prin acest tratament termic se produce o uniformizare a compoziţiei chimice, iar segregările se elimină sau se reduc prin difuziune. După omogenizare se aplică tratamentele obişnuite — călire, revenire. Aliajele supuse tratamentului de omogenizare au calităţi mecanice superioare celor neomogenizate.

IV. COMPORTAREA OŢELULUI ŞI A ALIAJELOR DE ALUMINIU

1. COMPORTAREA OŢELULUI ÎN DOMENIUL ELASTIC ŞI PLASTIC

a. Materialul solicitat în domeniul elastic

În domeniul elastic deformaţiile produse de solicitări dispar după încetarea acţiunii solicitării, elementul revenind la forma şi dimensiunile iniţiale. Deformarea materialului este datorită solicitărilor, care modifică valoarea forţelor de legătură dintre atomii reţelei cristaline; faptul că aceste deformaţii dispar când a încetat solicitarea, înseamnă că în material nu au fost învinse forţele de legătură interatomice.

Oţelul, ca material, este un corp cristalin; cristalele extrem de mici au fiecare o reţea orientată diferit de la un cristal la altul; cum cristalele sînt distribuite cu totul la întâmplare, proprietăţile elastice ale corpului în ansamblu vor reprezenta media proprietăţilor elastice ale tuturor cristalelor. Intercalaţiile de perlită, de carburi şi altele dintre grăunţii corpului policristalin influenţează dezvoltarea deformaţiilor, pe care le frîmează. Dimensiunile microscopice ale grăunţilor şi orientarea lor diferită permit să se considere că imperfecţiunile reţelei au o repartiţie statistic uniformă. Din aceste motive oţelul poate fi considerat că are proprietăţi uniforme şi aceleaşi în toate punctele şi în orice direcţie, adică este un material *omogen* şi *izotrop*, ceea ce este confirmat şi experimental.

Este posibil ca în unele cristale, cu oarecare defecţie peste media generală sau cu o orientare defavorabilă, să apară deformaţii care să ducă la distrugerea legăturilor dintre atomi; prezenţa intercalaţiilor de perlită şi orientarea mai favorabilă a cristalelor vecine, fac însă ca fenomenul să apară în ansamblu ca într-un corp omogen şi izotrop, defectele de comportare avînd un caracter local şi redus.

Prin unele operaţii de prelucrare, cum este laminarea, cristalele pot fi orientate după o anumită direcţie; în acest caz, proprietăţile elastice ale materialului diferă într-o oarecare măsură în direcţia transversală laminării faţă de aceea a sensului de laminare.

Deformaţiile în domeniul elastic nu apar şi nu dispar în mod riguros odată cu solicitarea; deformaţiile continuă să crească sub efort constant şi nu ajung la zero odată cu dispariţia încălzirii, ci după trecerea unui timp

oarecare (fig. IV.1). Se produce un fenomen de întârziere a deformaţiilor elastice, care se explică prin apariţia unor microdeformaţii plastice în unele cristale, prin orientarea diferită a cristalelor şi prin existenţa diverselor intercalaţii. Deformaţiile elastice au o viteză de extindere foarte mare, egală cu viteza sunetului, pe cînd deformaţiile plastice au o viteză de dezvoltare mult mai mică. Cu cît viteza de creştere a încălzirii va fi mai mare, cu atît decalarea între dezvoltarea deformaţiilor elastice şi plastice va fi mai mare. Apariţia unor deformaţii plastice în unui grăunţi provoacă tensiuni în interiorul cristalelor, care, după încetarea creşterii încălzirii, duc la dezvoltarea mai departe a deformaţiilor.

Între eforturi unitare şi deformaţii, cînd materialul este solicitat, există relaţia cunoscută sub numele de legea lui Hooke; notînd cu e alungirea laturii unui cub, latura fiind egală cu unitatea, supus la un efort unitar de întindere σ_x după direcţia x a unei laturi, valoarea deformaţiei e este dată de relaţia

$$e = \frac{\sigma_x}{E} \quad (IV.1)$$

atît timp cît σ_x nu depăşeşte o anumită valoare, numită limita de proporţionalitate σ_p ; E este modulul de elasticitate longitudinal al oţelului. În acelaşi timp, în elementul respectiv apar deformaţii de contracţie transversale:

$$\epsilon_y = -\mu \frac{\sigma_x}{E} \quad \text{şi} \quad \epsilon_z = -\mu \frac{\sigma_x}{E} \quad (IV.2)$$

în care, pentru oţel, $\mu = 0,3$ (coeficientul lui Poisson).

Valoarea modulului de elasticitate E pentru oţeluri este practic constantă; în măsura în care temperatura creşte, valoarea lui E se micşorează; astfel:

T , în °C	+20	+300	+400	+500
E , în daN/cm ²	$2,1 \times 10^6$	$1,85 \times 10^6$	$1,75 \times 10^6$	$1,65 \times 10^6$

b. Materialul solicitat în domeniul plastic

Cînd solicitările sînt atît de mari încît, în urma deformaţiilor produse, distanţele între atomi devin astfel încît forţele de legătură sînt învinse, atomii nu mai pot reveni în poziţiile iniţiale după încetarea solicitării; se produce în acest caz *deformaţii plastice*, care au un caracter *remanent*. Deformaţiile plastice sînt deformaţii de alunezare. Într-o reţea cristalină cu volum cubic centrat deplasarea corespunzătoare minimumului de energie se produce în planurile diagonale, principale ale cubului; sînt şase asemenea planuri, care

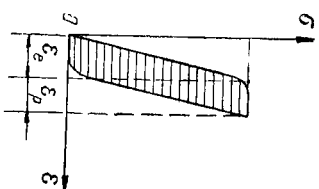


Fig. IV.1. Întreţinerea deformaţiilor elastice.

2002

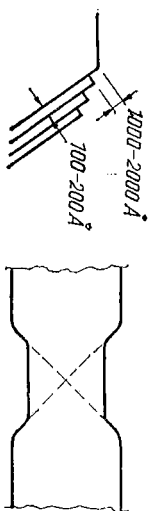


Fig. IV.2. Deplasari plastice.

trece prin cîte două din muchiile cubului, fiecare avînd două direcții principale, ceea ce duce la un total de 12 direcții de alunecare.

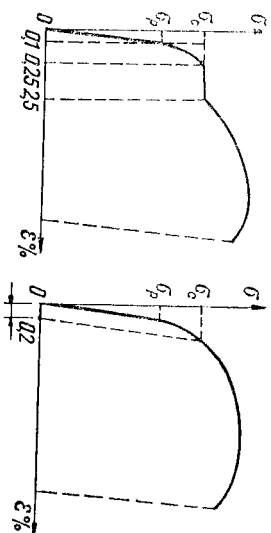
Deplasarea atomilor se face în stratură, fiind ușurată de deranjarea rețelei, care în anumite planuri prezintă dis-tanțe neegale între atomi, și, în mod treptat, odată cu creșterea încălzirii. Deplasările inițiale ale straturilor au valori mici, de ordinul a 1 000—2 000 Å; în urma acestor deplasări rețeaua cristalină se întărește în jurul straturilor alunecate, astfel că o nouă alunecare nu este posibilă decît la oarecare distanță, care poate fi de 100—200 Å (fig. IV.2).

În măsura în care solicițarea crește, numărul straturilor de alunecare se mărește, lungimea deplasărilor crește și o serie de grăunți încep să prezinte deformații plastice mari; alții, orientați în alt mod, pot să nu prezinte încă deformații plastice. Cristalele deformate plastic își modifică forma și dau presiuni asupra cristalelor vecine; deformațiile plastice se extind apoi treptat și în alte cristale, păstrîndu-se o direcție de alunecare aproximativ aceeași; întrecerății rigide de perlită sau de alte incluziuni sînt la început ocolite și mai târziu, pe măsura dezvoltării deformațiilor plastice, străbătute. Apar apoi noi direcții de alunecare, astfel că grăunții se separă în porțiuni, care se pot roti și rupe pe margini; rezistența la alunecare slăbește și deformațiile se concentrează în locurile mai slabe.

Deformația plastică la oțeluri se mai poate produce și prin *maclare*, datorită deformațiilor mecanice care au loc (maclare mecanică); în acest caz, o parte a cristalinului deformat se răstoarnă de-a lungul unui plan de maclare și ocupă o poziție simetrică reflectată în raport cu restul cristalinului. Partea deformată se numește *maclă*.

Deformațiile plastice mici încep să apară devreme; ele sînt mai evidente după trecerea limitei de proporționalitate; creșterea deformațiilor fiind mai mare decît creșterea solicițării, curba din diagrama $\sigma - \epsilon$ începe să se incline.

Comportarea oțelurilor peste limita de proporționalitate diferă într-o oarecare măsură după conținutul de carbon. Oțelurile care conțin 0,10—0,25% carbon au o cantitate de perlită suficientă pentru a frîna un timp oarecare dezvoltarea deformațiilor plastice; la o anumită valoare a eforturilor, rezistența straturilor de perlită este învinsă și apare brusc o deformație mare, care în diagrama $\sigma - \epsilon$ ia forma unui palier (fig. IV.3). La oțelurile cu mai mult carbon, proporția de perlită crește, amestecul perlită-ferită este mai omogen și deformațiile plastice se dezvoltă progresiv, fără a mai apărea un palier. Oțelurile cu puțin carbon conțin o cantitate de perlită insuficientă pentru frînarea deformațiilor plastice și de aceea mici acestea nu dau pe dia-gramă un palier.

Fig. IV.3. Diagrame $\sigma - \epsilon$.

În cazul oțelurilor care au palier, acesta marchează trecerea de la deformațiile plastice mici la deformațiile plastice mari; efortul corespunzător se numește *limita de curgere aparentă* σ_a .

Pentru oțelurile care nu au palier se convine să se ia drept limită de curgere efortul cărmină îi corespunde o deformație permanentă de 0,2%, care ar reprezenta aproximativ deformația începutului palierului de curgere; se notează $\sigma_{0,2}$ și se numește *limita de curgere tehnică*.

Pentru oțelurile de construcții limita de proporționalitate este destul de apropiată de limita de curgere, valoarea raportului σ_p/σ_s variînd între 0,80 și 0,85. Deformațiile plastice între limita de proporționalitate și limita de curgere sînt destul de mici și de aceea în practică se consideră variația limitară a deformațiilor extinsă pînă la limita de curgere. În modul acesta se poate spune că limita de curgere separă domeniul elastic de domeniul plastic.

Pe palierul de curgere, curgerea se produce prin deformații în trepte manifestate brusc, astfel că palierul apare ca o linie frîntă, cu o serie de măsuri oarecare de la un oțel la altul, conținutul de carbon fiind factorul care-l influențează mai mult. Pe măsură ce cantitatea de carbon crește, palierul se scurtează; o distribuție uniformă a perlităi micșorează oscilațiile curbei pe palier. Este posibil ca și unele oțeluri cu un conținut mic de carbon să aibă un palier de curgere, cînd orientarea granulelor este astfel încît s-ar putea produce unele frînări în dezvoltarea deformațiilor.

Calitățile plastice ale unui oțel sînt puse în evidență de valoarea *limitei de curgere*, de *alungirea specifică la rupere*

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \text{ și de proba de îndoire la rece. Fig. IV.4. Comportarea oțelurilor pe palierul de curgere.}$$

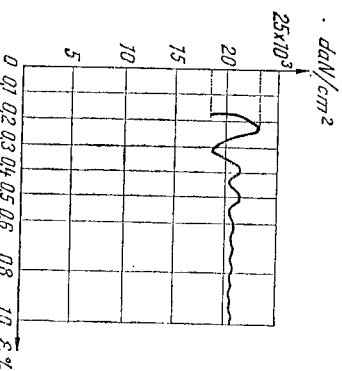


Fig. IV.4. Comportarea oțelurilor pe palierul de curgere.

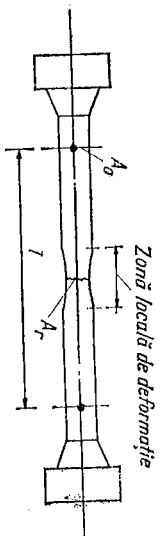


Fig. IV.5. Epruvetă pentru întindere, deformată.

stre folosesc distanța $5d$. Alungirea la rupere a epruvetei presupusă la întindere (fig. IV.5) se compune din două părți: alungirea uniformă, distribuită pe porțiunile nedeformate plastic, și alungirea locală din zona de gîturi; valoarea alungirii la rupere apare deci cu altă mărime decât cea a epruvetei este mai lungă. Un criteriu pentru aprecierea calităților plastice ale oțelului este mai lungă. În criteriul pentru aprecierea calităților plastice ale oțelului este mai lungă.

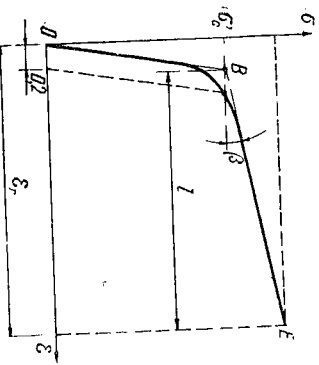
Alăți și *stricțiunea* ψ , exprimată în procente $\psi = \frac{A_0}{A_r - A_0} \cdot 100$. În această relație A_0 este aria secțiunii inițiale a epruvetei, iar A_r aria secțiunii din zona gîturii, după rupere.

Diagrama $\sigma - \epsilon$, așa cum este reprezentată în fig. 1.8, se construiește exprimând eforturile unitare σ în funcție de secțiunea inițială a epruvetei A_0 ; dacă se exprimă σ în funcție de secțiunea redusă prin deformare, se obține o altă diagramă, reprezentată cu oarecare simplificare în fig. IV.6. Valoarea rezistenței la rupere în acest caz în punctul E este egală cu

$$\sigma_r = \frac{AN}{\pi d_r^2} \quad (\text{IV.3})$$

în care d_r este diametrul mediu în secțiunea de rupere.

Fig. IV.6. Diagramă reală simplificată.



2. COMPORTAREA ALIAJELOR DE ALUMINIU

a. Comportarea în domeniul elastic

În principiu, comportarea aliajelor de aluminiu în domeniul elastic este asemănătoare cu a oțelurilor; apar însă unele particularități specifice acestor aliaje. Modulul de elasticitate longitudinal E are, la temperaturi obișnuite, valori diferite în funcție de marca aliajului, variind între 650 000 și 750 000 daN/cm² din care cauză curbele $\sigma - \epsilon$ prezintă în domeniul elastic înclinări puțin diferite de la un aliaj la altul. Valoarea modulului de elasticitate E

scade repede în măsura în care temperatura crește; în schimb are valori ceva mai mari la temperaturi sub 0°C (fig. IV.7). Coeficientul lui Poisson la aliaje de aluminiu în domeniul elastic are valoarea 0,33. Modulul de elasticitate transversal se poate lua $G = 270 000$ daN/cm².

Ca și în cazul oțelurilor se admite că variația deformațiilor în funcție de eforturile unitare σ este liniară pînă la limita de curgere. Limita de curgere nu prezintă un palier ca la oțeluri; majoritatea normelor admit să se considere drept limită de curgere efortul unitar corespunzător unei deformații remanente de 0,2%. În fig. IV. 8 este arătată diagrama $\sigma - \epsilon$ și variația modulului de elasticitate E pentru un aliaj Al-Zn-Mg.

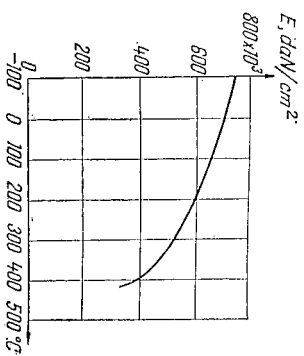
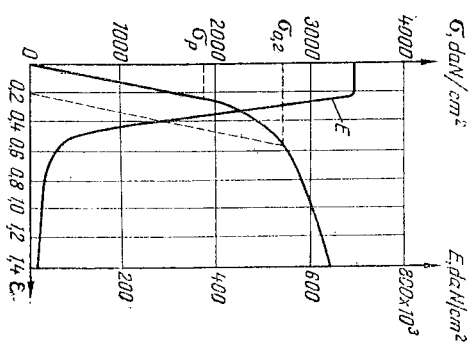
La cele mai multe aliaje de aluminiu, în funcție de marcă și tratament, limita de curgere se apropie de rezistența la rupere (0,8—0,92); sînt și aliaje la care raportul σ_r/σ_c coboară spre 0,5—0,7. În general, limita de curgere este mai ridicată cu cât este mai mare gradul de ecruisare.

Limita de proporționalitate σ_p la aliajele de aluminiu este ceva mai deosebită de limita de curgere decât la oțeluri.

b. Materialul solicitat în domeniul plastic

După cum se vede din fig. IV.8 unele deformații plastice mici încep să apară imediat după limita de proporționalitate. Ca și la oțeluri însă se consideră că limita de curgere tehnică $\sigma_{0,2}$ separă domeniul elastic de cel plastic. La aliaje de aluminiu deformațiile plastice se produc numai prin alnecare.

Valoarea modulului de elasticitate E , după depășirea limitei de proporționalitate începe să scadă, pentru ea după limita de curgere să abă valori foarte mici (fig. IV.8).

Fig. IV.7. Variația modulului de elasticitate E la un aliaj Al-Zn-Mg în funcție de temperatură.Fig. IV.8. Curba $\sigma - \epsilon$ și variația modulului de elasticitate E la un aliaj Al-Zn-Mg.

Starea de eforturi plană este reprezentată geometric printr-o elipsă, ale cărei semiaxe sînt eforturile unitare principale σ_1 și σ_2 ; pentru $\sigma_1 = \sigma_2$ elipsa se reduce la un cerc.

Pentru starea de eforturi liniară (IV.6) se reduce la

$$\sigma^2(\sigma - \theta) = 0. \quad (IV.12)$$

Starea de eforturi liniară (monoaxială) cînd $\sigma_1 \neq 0$ și $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ este cea mai bine studiată experimental; într-o astfel de solicitare zonele de lucru elastic sînt bine diferențiate.

Starea de eforturi plană (biaxială), în care σ_1 și σ_2 sînt diferite de zero și pot avea valori egale sau diferite de același semn sau semne contrarii. Cînd σ_1 și σ_2 sînt de același semn adică eforturi unitare de compresune sau întindere, domeniul elastic se mărește, deoarece se întârzie apariția deformațiilor de alunecare; din contră, cînd σ_1 și σ_2 au semne contrarii, alunecările sînt favorizate, domeniul elastic se micșorează și domeniul plastic se mărește. Dacă $\sigma_1 = -\sigma_2$, ceea ce corespunde forfecării pure, reducerea domeniului elastic este maximă.

Starea de eforturi spațială (triaxială) se produce cînd σ_1 , σ_2 și σ_3 au valori diferite de zero. Domeniul elastic se mărește cînd cele trei eforturi unitare au valori cu același semn; la o întindere triaxială egală pe cele trei direcții distrugerea se produce elastic, fără deformații plastice, iar în cazul unei compresuni triaxiale, cu valori egale, distrugerea materialului devine practic imposibilă. Cînd unul din cele trei eforturi unitare este cu semn contrar apar deformații plastice cu altă mai devreme și mai importante cu cît diferențele între valorile eforturilor unitare sînt mai mari, datorită faptului că astfel de stări de solicitare ușurează dezvoltarea deformațiilor de alunecare.

Deformațiile plastice deranjează rețeaua cristalină, astfel că între diferitele părți vecine apare o stare de eforturi care se echilibrează intern; porțiunile mai rezistente sau cristalele cu o orientare nefavorabilă alunecărilor se opun deformațiilor părților intrate în curgere. Încălzirea și răcirea nemijlociată a pieselor dau de asemenea stări de eforturi, care aduc deformațiile variate de temperatură la cele compactibile cu legea liniară a încovoierii. Eforturile care se dezvoltă ca urmare a diferitelor pierderi, care se opun deformații și distribuiri eforturilor conform cu legile corpurilor omogene și izotrope, se numesc *eforturi proprii*; aceste eforturi sînt echilibrate intern. După dispariția cauzelor care le-au produs, în general se menține în piese o stare oarecare de eforturi; eforturile care rămîn în piese se numesc *eforturi remanente*. Eforturile remanente se pot echilibra în o parte sau în întregul volum al corpului, în cadrul mișcării sau mai multor cristale sau într-o porțiune din rețeaua cristalină.

b. Ecrinisarea, curgerea lentă, relaxarea

Solicitarea la rece peste limita de curgere, în domeniul plastic, a unui element din oțel, aluminiu etc., produce deformații plastice și o întărire a structurii în zonele deformate plastic, consecință a alunecărilor produse și a orientării forțate a cristalelor.

După descărcare, o epruvetă întinsă în aceste condiții și reincărcată, după un timp oarecare, pînă la valoarea efortului anterior, se va comporta elastic. Aceasta, din cauză că într-o epruvetă deformată plastic nu se mai pot produce deformații plastice în zona deformată sau în alte părți la o solicitare mai mică decît cea anterioară. Revenirea la descărcare din A în B se face aproximativ după o dreaptă paralelă cu dreapta din domeniul elastic OI ; în rezultate AB are o mică deviere (fig. IV.10). La a doua încărcare de asemenea se ajunge din B în A tot pe o curbă puțin deviată de la dreapta BA . În ciclu de descărcare-încărcare include o buclă, care reprezintă energia cheluită pentru învingerea unor pierderi la încărcare și descărcare. Acest fenomen, numit *histeresis*, este însă neînsemnat la oțelurile de construcții.

La o creștere a efortului, materialul se comportă plastic, pentru surplusul de solicitare. Un material care a fost deformat odată plastic pînă la un efort de întindere corespunzător punctului C , la orice solicitare ulterioară se comportă elastic pînă în C și mai departe plastic. Pentru un astfel de material consecințele ecrinisării sînt ridicarea limitei de elasticitate și într-o măsură mică a rezistenței la rupere, reducerea alungirii la rupere, a strîngimii; se reduce și valoarea rezilienței.

Ecrinisarea se produce în toate cazurile de prelucrare la rece adică la temperatura obișnuită sau la o temperatură mai ridicată, dar care nu depășește temperatura minimă de recristalizare, cînd materialul este solicitat peste limita corespunzătoare de curgere. Ecrinisarea se înfățișează la toate prelucrările la rece cum sînt: tragerea șirnelor, a țevilor, la laminarea tablei subțiri, la prelucrarea prin presare, îndoire.

Ecrinisarea poate fi înlăturată printr-o încălzire la o temperatură sub A_3 . Reducînd calitățile plastice ale oțelului, ecrinisarea micșorează domeniul deformațiilor plastice și produce trecerea materialului în stare de fragilitate; pentru aceste motive la construcții metalice nu se folosesc laminate din oțel ecrinsat în mod special.

În cazul aliajelor de aluminiu ecrinisarea constituie un mijloc de îmbunătățire a calităților mecanice ale aliajelor nedurificabile prin tratamente termice. În funcție de gradul de deformare plastică produsele din aliaje de aluminiu sînt livrate în diferite stări: $1/4$ tare, $1/2$ tare, $3/4$ tare; starea necrinsată se notează uneori cu U .

Curgerea lentă și relaxarea sînt fenomene de variație a deformațiilor sau a eforturilor în timp sub încărcare.

Prin *curgere lentă* se înțelege creșterea deformațiilor sub încărcare constantă, iar prin *relaxare* micșorarea eforturilor, cînd deformația este menținută constantă. În cazul unei epruvete întinse în domeniul plastic, dacă efortul,

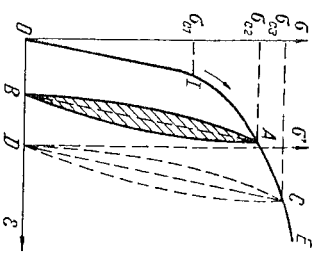


Fig. IV.10. Fenomenul de histeresis.

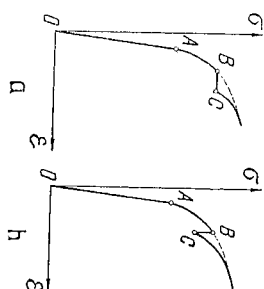


Fig. IV.11. Curgere lentă și relaxare.
a — curgere lentă; b — relaxare.

efortul scade conform deformației plastice produsă până în momentul fixării ei. În domeniul elastic oșelurile nu prezintă practic astfel de fenomene. Oșelul prezintă fenomene de curgere lentă și relaxare dacă este solicitat la temperaturi peste cea de începere a regenerării (peste $+300^{\circ}\text{C}$); oșelurile carbon și oșelurile slab aliate prezintă aceste fenomene la temperaturi mai ridicate, peste $+400^{\circ}\text{C}$.

La aliajele de aluminiu temperatura de la care se poate manifesta curgere lentă este de aproximativ $+150^{\circ}\text{C}$; sint unele aliaje la care această temperatură este mai ridicată. Curgerea lentă la aliajele de aluminiu este mai accentuată decât la oțeluri; pot apărea unele fenomene de curgere lentă chiar la temperaturi obișnuite.

Și fenomenul de relaxare este influențat de temperatură, din cauză că la temperaturi mai înalte deformațiile elastice și plastice se repartizează altfel în timp. Deformația totală, menținută constantă, este $\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p$; deformațiile plastice conținând să se dezvolte cu timpul, se reduce ϵ_e și deci efortul corespunzător. Dacă valorile efortului și ale temperaturii sint la un anumit nivel, este posibil ca deformația plastică să atingă valoarea deformației totale; în acest caz deformația elastică ϵ_e și efortul ajung la valoarea zero, adică epruveta se descarcă complet de efort.

Probleme legate de curgerea lentă și relaxare se pun în mod deosebit la construcțiile metalice, cînd solicitările sint foarte mari sau cînd intervin condiții defavorabile de temperatură. Efectul de curgere lentă nu poate fi eliminat, este posibil însă că acest efect să fie redus sau încetînt la anumite temperaturi. Aceasta se poate face prin folosirea unor oțeluri aliate convenabile și prin crearea unei structuri în oțeluri, care să micșoreze deformațiile plastice și viteza de recristalizare la temperatura de lucru.

Pentru elemente de construcții care trebuie să reziste la temperaturi ridicate se folosesc oțeluri cu adăosuri care ridică temperatura de recristalizare a feritei, cum sint, Cr , W și mai ales Mo .

c. Comportarea la eforturi neuniforme repartizate

Ipoteza repartizării uniforme a eforturilor pe secțiunea unei bare întinse axial nu mai corespunde situației reale în cazul unei bare cu variații de secțiune; eforturile se distribuie neuniform și apar zone cu stări de eforturi plane sau spațiale.

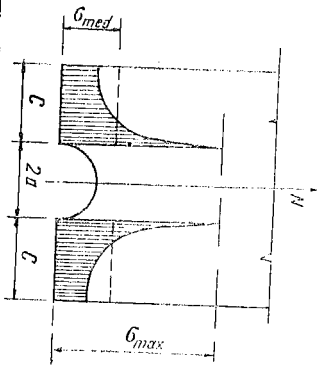


Fig. IV.12. Repartizarea eforturilor unitare într-o piesă cu gaură.

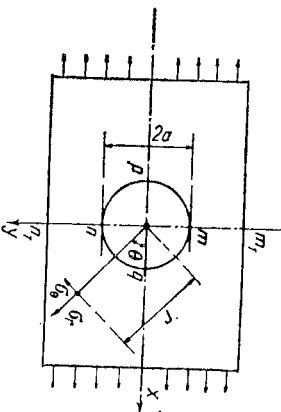


Fig. IV.13. Eforturile unitare într-un punct la distanța r .

În cazul unei plăci supuse la întindere axială pe o direcție, cu o gaură în axa plăcii, apar la marginea găurii eforturi cu mult mai mari decât cele medii. Valoarea medie a efortului unitar este $\sigma_{med} = N/2at$, iar aceea a efortului unitar maxim poate ajunge pînă la de trei ori valoarea efortului unitar pînd de la marginea găurii pe o zonă foarte îngustă și scad după aceea foarte repede, coborînd sub valoarea medie. Valorile maxime pot depăși limita de curgere; creșterea eforturilor unitare este însă frînată de eforturi plane, care întinse din zona vecină; se produce o oarecare stare de eforturi plană, care face ca limita de curgere să se ridice și să se întîrzie dezvoltarea deformațiilor plastice. În măsura în care solicitarea crește, diagrama eforturilor se schimbă și încep să apară deformații plastice care se extind dinspre marginea găurii spre marginea piesei.

Eforturile unitare într-un punct la o distanță r de centrul găurii se pot exprima după cum urmează (fig. IV.13):

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{2} \left(1 - \frac{d^2}{r^2} \right) + \frac{\sigma}{2} \left(1 + \frac{3d^4}{r^4} - \frac{4d^2}{r^2} \right) \cos 2\theta \quad (\text{IV.13})$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma}{2} \left(1 + \frac{d^2}{r^2} \right) - \frac{\sigma}{2} \left(1 + \frac{3d^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \quad (\text{IV.14})$$

$$\tau_{\theta\theta} = -\frac{\sigma}{2} \left(1 - \frac{3d^4}{r^4} + \frac{2d^2}{r^2} \right) \sin 2\theta \quad (\text{IV.15})$$

În care σ este efortul unitar normal în piesă.

În cazul unor încercări cu alți coeficienți de asimetrie, ruperea are loc la valori ale eforturilor unitare mai mari decât rezistența la oboseală σ_r , definită ca mai înainte.

b. Comportarea materialului la solicitări variabile

Comportarea oțelului și a aliajelor de aluminiu la solicitări variabile depinde de compoziția chimică, de structură, de prelucrările anterioare, de starea suprafeței piesei, de efectele de concentrare a eforturilor, de natura ciclului etc. În ceea ce privește compoziția chimică, o influență negativă asupra rezistenței la oboseală o are creșterea conținutului de carbon și de fosfor; siliciul, în proporțiile folosite pentru calmarea oțelului, micșorează sensibilitatea la oboseală; oțelurile calmate sînt deci de preferat pentru elementele supuse la solicitări variabile.

Structura cu grăunți grosolani, cu incluziuni grupate sau în benzi, situate mai ales spre periferia secțiunilor, are un efect defavorabil; rezistența la oboseală este influențată și de sensul de laminare, fiind mai mică în sens transversal.

Starea suprafețelor pieselor duce la reducerea rezistenței la oboseală, dacă prezintă neregularități ca rizuri, șanțuri; pentru acest motiv piesele elementelor supuse la solicitări variabile nu este indicat să fie tăiate cu flacăra oxiacetilenică fără să li se asigure în final margini netede.

Influențe foarte defavorabile le au concentrațiile de eforturi provocate de găuri, șanțuri și de variațiile transversale bruște ale secțiunilor.

Distrugerea prin oboseală nu este însoțită de deformații plastice mari; aparent are un caracter de rupere bruscă, dar în realitate este rezultatul unui proces îndelungat. Ca urmare a solicitărilor repetate de foarte multe ori, în unele cristale, orientate favorabil, apar mici deformații plastice, care se dezvoltă cînd într-o direcție cînd în alta. O astfel de deformare duce după un timp oarecare la o întărire a rețelei cristaline în zona respectivă; alte deformații plastice nu se mai produc în zona întărită și se dezvoltă în alte planuri imediat vecine. Se produce astfel o deranjare a rețelei și unele neuniformități în distribuția eforturilor. Într-un oțel cu pușin carbon asemenea deranjări au loc în fierită, ocotînd la început perla; grăunțele în care se produce deformații este cu timpul cuprins aproape în întregime de astfel de deformații plastice, căora le corespunde o deranjare a rețelei, atomii ajungînd să aibă poziții mai puțin regulate, cu unele îngrămădiri. Această constituție o surse pentru apariția unor microfisuri; concomitent cu această deranjare apar local stări de eforturi spațiale și mici concentrații de eforturi. Numărul fisurilor și poziția lor depind de natura ciclului de solicitare, de starea suprafeței, de structură etc. În general apar spre marginile secțiunii; în zona suprafeței piesei existînd de obicei mici perturbări și unele virțuri de eforturi.

Odată formate unele fisuri spre suprafețele piesei, acestea se închid și se deschid în mod repetat; ca urmare, se mărește cînd se deschid și fețele lor se lustruiesc prin presare repetată cînd se închid; se produce din ce în ce

concentrări mai mari de eforturi și are loc o slăbire a secțiunii, astfel că la un moment dat miezul rămas într-o stare spațială de eforturi se rupe brusc.

Ruptura unei epruvete prin oboseală prezintă de regulă două porțiuni deosebite ca aspect: una spre periferie lustruită și netedă și alta centrală sau spre una din margini, cu aspect rugos. Cînd acțiunea ciclului de încălzire este mare și intensă, partea netedă este mică, deoarece orice slăbire duce în acest caz la distrugere; la eforturi mici acțiunea ciclului este de lungă durată și partea lustruită este mai întinsă.

c. Rezistența la diferite solicitări variabile

Curba lui Wöhler poate fi determinată experimental; din această curbă rezultă și rezistența la oboseală. Pentru trasarea curbei sînt însă necesare mai multe puncte (6—8 puncte) cu valori diferite ale efortului unitar σ_{max} și din cauza dispersiunii rezultatelor sînt necesare 2—3 încercări. Determinările sînt mai puțin sigure în zona asimptotică a curbei; în general, partea asimptotică începe la 6—10⁶ cicluri; pentru epruvete brute, cu fețe puțin netede, se poate considera începutul părții asimptotice chiar la 2—10⁶ cicluri.

În practică se folosesc unele reprezentări grafice care dau relații între rezistențele la oboseală pentru diferite cicluri de încălzire și rezistența la rupere a materialului. Una dintre acestea este diagrama $\sigma_{max} - \sigma_m$; o astfel de diagramă se poate construi ușor dacă se cunosc rezistențele la oboseală pentru un ciclu alternant simetric și pentru un ciclu pulsator și se admite că variația rezistențelor pentru alte cicluri este liniară și limitată la valorile limitei de curgere. În fig. IV.21 sînt reprezentate diagramele pentru solicitări la întindere-compresie, încovoire și răsucire. O altă diagramă folosită în practica construcțiilor metalice este diagrama $\sigma_{max} - \rho$ (fig. IV.22), a cărei construcție este bazată pe încercări experimentale.

Cu oricare din aceste diagrame se poate vedea dacă o solicitare variabilă cunoscută constituie un caz periculos din punct de vedere al oboselii. Valorile rezistenței la oboseală, determinate în laborator, sînt influențate de dimensiunile și starea suprafeței epruvetelor; concentrațiile

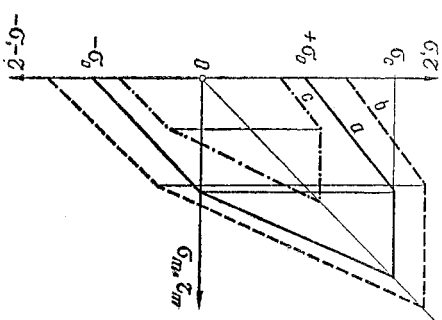


Fig. IV.21. Diagrama $\sigma_{max} - \sigma_m$:
a — întindere; b — încovoire;
c — răsucire.

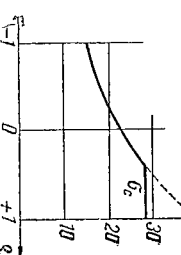


Fig. IV.22. Diagrama $\sigma_{max} - \rho$.

de eforturi au de asemenea o influență sensibilă asupra acestor valori. Dacă se notează cu σ_0 rezistența la oboseală la un ciclu alternant simetric și cu σ_k rezistența la oboseală pe o epruvetă cu concentrații de eforturi pentru același ciclu, raportul $\beta = \frac{\sigma_0}{\sigma_k} < 1$, se numește *coeficient de concentrare* (coeficient de formă).

Fenomenul de oboseală se manifestă, în principiu, în același mod și la aliajele de aluminiu; valorile rezistenței la oboseală variază în oarecare măsură după aliaje și în special după cum acestea sînt sau nu tratabile termic. Este de reținut faptul că aliajele de aluminiu au o rezistență la oboseală bună și la temperaturi scăzute. Neregularitățile suprafeței, zgîrneturile, discontinuitățile au în cazul pieselor din aliaje de aluminiu o mai mare influență asupra rezistenței la oboseală decît la piesele din oțel.

d. Modul de verificare la oboseală

Asupra rezistenței la oboseală au influență în principal valoarea încărcărilor, coeficientul de asimetrie, gradul de concentrare al eforturilor și frecvența ciclurilor de încărcare variabilă; materialul se comportă mai defavorabil cînd domină eforturile de întindere. Acțiunile care se iau în considerare pentru verificarea la oboseală și în special grupările lor pot fi diferite de acelea cu care se face verificarea de rezistență. Trebuie analizate situațiile de încărcare care duc la cea mai defavorabilă situație pentru oboseală; diferitele prescripții dau o serie de indicații în această privință.

În mod practic rezistența la oboseală se exprimă în raport cu rezistența de calcul

$$\sigma_0 = \gamma_0 R \quad (\text{IV.21})$$

coeficientul γ_0 fiind o funcție de parametrii principali care conduc la reducerea rezistenței materialului prin oboseală, iar R rezistența de calcul la solicitări statice; expresia coeficientului γ_0 dată în diferite norme este de forma

$$\gamma_0 = \frac{c}{(a\beta + 0,3) - (a\beta - 0,3) p} < 1 \quad (\text{IV.22})$$

cînd efortul uniar de întindere, în valoare absolută, este mai mare decît cel de compresie și

$$\gamma_0 = \frac{c}{(a\beta - 0,3) - (a\beta + 0,3) p} < 1 \quad (\text{IV.23})$$

dacă, în valoare absolută, efortul uniar de compresie este maxim.

În aceste relații a ține seama de marca oțelului și de faptul dacă gruparea de încărcări care se ia la verificarea la oboseală este practic aceeași




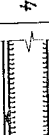
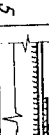

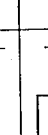


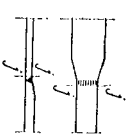
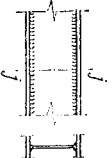
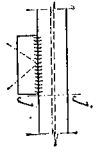
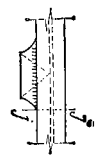
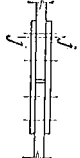
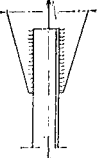
Nr	Forma piesei	Rezistența la oboseală σ_0 / mm^2					Explicații
		5	10	15	20	25	
1							Profil laminat
2							Grindă dublu T cu sudură continuă
3							Grindă nituită
4							Grindă sudată cu undire în adâncime la talpă
5							Plătină prinsă cu suduri în relief laterale
6							Găseu prins fiind prelucrare
7							Găseu racordat și cu sudură prelu-crată

Fig. IV.23. Influența concentratorilor de eforturi asupra rezistenței la oboseală.

cu cea la care se face calculul de rezistență. Astfel, valoarea lui a se poate admite pentru oțel carbon $a = 0,90$ cînd încărcările la verificarea la oboseală și la calculul de rezistență sînt practic aceleași și $a = 0,75$ cînd verificarea la oboseală se face la încărcări mai mici; pentru oțel slab aliat valorile lui a sînt 0,95 respectiv 0,80.

Coeficientul β este un *concentrator de eforturi*; importanța concentrărilor de eforturi este pusă în evidență în fig. IV.23; valorile coeficientului β de pînd de soluția constructivă a elementului supus la solicitări variabile, de modul de rezolvare al detaliilor de îmbinare, prindere, de felul elementelor de îmbinare — sudură, nituri, șuruburi de înaltă rezistență — și, în cazul sudurilor, de modul cum sînt executate și prelucrate. Cîteva valori ale coeficienților β sînt date în tabelul IV.1; în diferite instrucțiuni sînt date valori pentru situațiile cele mai variate care se pot întîlni în practică.

Tabelul IV.1

Schema piesei și îmbinării	Caracteristicile secțiunii	Coeficientul β pentru oțel	
		carbon	șab aliat
	Pieșă laminată neinfluențată de sudură, având marginile laminare sau tăiate și netezite; piesă cu sudură în adâncime, cu rădăcina sudată și controlate cu raze	1	1
	Pieșă cu sudură în adâncime, cu rădăcina resudată executată manual fără control cu raze	1,2	1,4
	Pieșe cu suduri în adâncime prelucrate mecanic: — table de lășini diferite — table de grosimi diferite	1,2 1,3	1,4 1,6
	Piese sudate continuu, solicitate în lungul sudurii: — sudură executată automat sau semiautomat — sudură executată manual	1,0 1,3	1,6 1,6
	Elemente de care se prind gusee dreptunghiulare sau trapezoidale, așezate lateral sau perpendicular pe tablă, cu suduri neprelucrate	2,5	3,5
	Elemente de care se prind gusee racordate cu suduri în adâncime, prelucrate mecanic	1,2	1,4
	Elemente îmbinate cu nituri — cu două secțiuni de forțare — cu o secțiune de forțare	1,6 2,0	1,9 2,4
	În sudurile elementelor prinse cu suduri în relief, solicitate la forțare	3,4	4,4

Coeficientul ρ are expresia cunoscută

$$\rho = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad \text{sau} \quad \rho = \frac{\tau_{min}}{\tau_{max}} \quad (IV.24)$$

Eforturile unire σ_{min} și σ_{max} se determină în aceeași secțiune și în același punct.

O analiză mai amănunțită e necesită coeficientul c de la numărătorul relațiilor (IV.22) și (IV.23). Încărcările variabile pot duce la distrugerea prin oboseală dacă numărul de cicluri, de exemplu zilnic, este suficient de mare. Numărul de cicluri necesar, stabilit experimental pe epruvele netede de 6-10^e, se reduce în cazul construcțiilor reale cu o execuție normală, putând coborî la 2-10^e; s-au înțeles însă situații defavorabile produse de solfina constructivă, calitatea materialului și altele, când distrugerea a avut loc după circa 50 000 de cicluri la un interval de timp de numai 3,5 ani de la darea în exploatare a construcției. Distrugerea prin oboseală este influențată de frecvența solicitărilor, adică de numărul de cicluri care apare zilnic într-o secțiune anumită a unei bare.

Un număr de 30 cicluri zilnic conduce la aproximativ 11 000 cicluri/an, astfel că numărul de ani în care s-ar putea atinge numărul critic de cicluri este foarte mare. Nu este necesar să se verifice la oboseală elementele de construcții supuse la încălziri variabile, dacă numărul ciclurilor zilnic este sub 30; unele norme reduc acest număr la 20. Este posibil ca în anumite situații numărul de cicluri zilnic să fie foarte mare; pentru 1 000 de cicluri pe zi, anual se ajunge la 365 000 cicluri, astfel că rezistența critică la oboseală poate fi atinsă după un număr mic de ani. Este deci rațional ca valoarea coeficientului γ_0 să fie diferențiată și în raport cu numărul ciclurilor care apare zilnic astfel ca fenomenul de rupere prin oboseală să nu apară pe toată durata de exploatare. Fîind seama de cele arătate, la un număr total de cicluri de 500 000 s-ar putea lua $c = 1,3$, iar la 2 000 000 de cicluri $c = 1,00$; pentru un număr mai mare de cicluri c poate coborî la 0,90.

Unele prescripții dau direct, pe grupe de soluții constructive cu diferite grade de concentrare a eforturilor și în funcție de R , valorile rezistențelor la oboseală. În fig. IV.24 este arătată variația coeficientului γ_0 pentru oțelul marca OL 37 și pentru valori ale coeficientului ρ de 1,2 și 2,00.

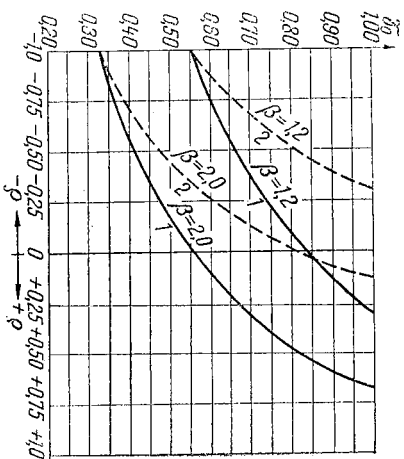


Fig. IV.24. Coeficienți γ_0 pentru OL 37: 1 — efort maxim de întindere; 2 — efort maxim de compresie.

O altă problemă este aceea de a stabili la ce grupare de acțiuni trebuie făcută verificarea la oboseală; desigur, în fiecare situație, trebuie aleasă gruparea de acțiuni care conduce la situația cea mai defavorabilă. În această privință, în diferite norme, se dau unele indicații. În principiu se are în vedere faptul că nu orice grupare de acțiuni conduce la cea mai defavorabilă situație pentru distrugerea prin oboseală; numărul ciclurilor necesare și o anumită asimetrie a ciclului defavorabil, nu pot fi realizate cu orice grupare de acțiuni. După normele din țara noastră se verifică la oboseală elementele de construcții supuse, în general, direct acțiunii unor încălzări mobile sau unor încălzări fixe care dau vibrații, cum sînt în cazul construcțiilor industriale grinzile căilor de rulare în construcții cu regim de lucru greu și foarte greu, grinzile platformelor industriale și altele.

La determinarea eforturilor unitare pentru grinzile căilor de rulare se consideră un singur pod rulant și anume cel cu presiunile cele mai mari pe roată; pentru alte elemente se consideră un singur convoi mobil sau un singur utilaj care dă vibrațiile cele mai defavorabile. La determinarea eforturilor unitare, încălzirile se iau fără să se aplice coeficienții de impact și de flambaj.

La determinarea coeficientului γ_0 nu intervine efectul temperaturii; materialul care se folosește nu trebuie să devină fragil; de această condiție se ține seama alergind un material care se comportă bine la încercări de încovoiere prin șoc la temperaturile scăzute la care se exploatează construcția. Verificarea la oboseală se face independent de calculul de rezistență; este necesar să fie îndeplinită condiția

$$\sigma \leq \gamma_0 R \quad \text{sau} \quad \tau \leq 0,6 \gamma_0 R. \quad (\text{IV.25})$$

În cazul unei solicitări în care apar eforturi unitare σ și eforturi unitare τ se face și verificarea

$$\sigma_{cal} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \gamma_0 R \quad (\text{IV.26})$$

Valoarea coeficientului γ_0 va fi determinată pe baza eforturilor unitare simple σ_{min} și σ_{max} .

6. RUPEREA OTELURILOR ȘI A ALIAJELOR DE ALUMINIU LA ÎNCOVOIERE PRIN ȘOC

În condițiile reale în care se găsesc elementele de construcții, în numeroase cazuri acțiunile intervin cu șocuri, ceea ce nu mai corespunde modului în care se încearcă static epruvele de tracțiune în laborator. A apărut necesitatea de a se face încercări de laborator prin aplicarea încălzirilor prin șocuri. La o astfel de încercare se determină lucrul mecanic consumat pentru ruperea epruvei. Rezultatele ce se obțin sînt influențate în mare măsură de cele mai mici defecte de structură.

Încercarea la încovoiere, conform normelor din țara noastră, se face pe epruvele cu creștătură în U și în V. În fig. IV.25 sînt date dimensiunile epru-

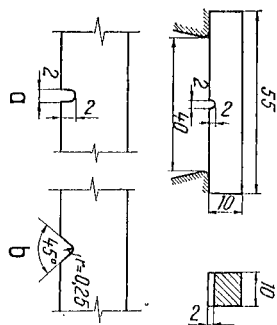


Fig. IV.25. Epruve pentru încercare la încovoiere prin șoc: a - creștătură în U; b - creștătură în V.

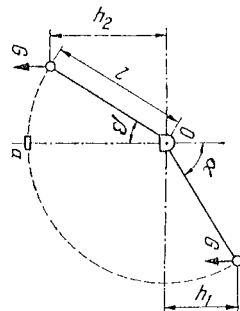


Fig. IV.26. Ciocanul pendul: a - poziția epruvei.

velor, și formele creștăturilor, iar în fig. IV.26 schema ciocanului pendul, la care se face experiența de rupere.

Lucrul mecanic consumat pentru ruperea epruvei conform notațiilor din fig. IV.26 va fi:

$$L = G(h_1 + h_2) = Gr(\cos \alpha + \cos \beta). \quad (\text{IV.27})$$

Încercarea de rupere la încovoiere prin șoc se face la diferite temperaturi. La temperatura de $+20^\circ\text{C}$ se determină reziliența pe epruvele cu creștătură în U (reziliența KCU); reziliența reprezintă lucrul mecanic (energia de rupere) consumat cu ruperea epruvei, raportat la secțiunea din dreptul creștăturii, unde se aplică și lovitură, deci

$$KCU = \frac{L}{A} \quad [\text{daJ/cm}^2]. \quad (\text{IV.28})$$

La alte temperaturi, ca 0°C , -20°C și mai jos, se determină energia de rupere (KV), care se exprimă în daJ.

Încercarea de rupere la încovoiere prin șoc constituie o probă foarte grea, deoarece se face prin aplicarea încălzirii cu viteză foarte mare, pe epruvele cu secțiune mică și în condiții de concentrări mari de eforturi.

Defectele (pori, incluziuni, grăunți mari) situate în secțiunea de rupere reduc valoarea energiei de rupere. Din cauza dispersivității valorilor, rezultatele se iau ca media a trei încercări. În același timp aspectul rupei dă indicații prețioase asupra calității materialului, punând în evidență structura grosolană, inhomogenă, stratificări, pori etc.

Făcînd mai multe încercări la diferite temperaturi, în funcție de calitățile oțelului de a rezista la solicitări prin șoc, se obțin alte valori ale energiei de rupere pentru același material, după temperatura la care se face încercarea; pentru alt material valorile vor fi diferite. Cu aceste valori se

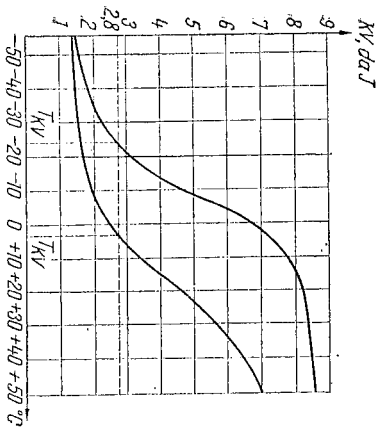


Fig. IV.27. Variația energiei de rupere în funcție de temperatură și calitatea oțelurilor: T_{KV} temperatura de tranziție.

direcția în care s-au scos epruvetele, față de direcția de laminare; valoarea energiei de rupere sînt mai mici pentru direcția transversală laminării.

Temperatura critică de rupere fragilă T_{Kv} se ridică dacă conținutul de carbon crește; o influență asemănătoare o are și fosforul. Siliciul, în proporțiile folosite pentru calmarea oțelurilor, coboară temperatura critică, ceea ce face ca oțelurile calmate să se comporte mai bine la rupere prin șoc decât oțelurile necalmate.

Temperatura de tranziție și forma curbelor depinde și de modul de elaborare al oțelului; oțelurile Thomas necalmate au temperatura de tranziție ridicată, deseori cu mult peste 0°C ; oțelurile Martin necalmate au temperatura de tranziție în jurul a 0°C , dar în general sub această temperatură. Temperatura de tranziție joase au oțelurile Martin și de convertitor cu sulfare de oxigen, calmate și normalizate; cînd oțelurile au o granulație fină, incluziuni puține și cît mai uniform distribuite, temperatura de tranziție poate cobori sub -20°C .

Încercările de rupere prin șoc, efectuate la diferite temperaturi, permit să se vadă pentru un anumit material care sînt temperaturile la care epruvetele se rup complet tenace sau complet fragil; între aceste temperaturi ruperea este parțial fragilă. Această constatare se face pe baza aspectului pe care îl prezintă secțiunea ruptă.

Încercările de rupere la încovoiere prin șoc pun în evidență și tendința de îmbătrînire a oțelurilor. Pentru a se pune în evidență această tendință se iau măsuri pentru grăbirea artificială a procesului de îmbătrînire. Aceasta se face prin deformarea plastică la rece a epruvetelor de încercare la șoc pînă la o deformare remanentă de 10% , după care se încălzesc la o temperatură de $+250^{\circ}\text{C}$, timp de o oră; încercarea epruvetelor se face după 8—12 ore

pot trasa curbe în funcție de temperatură (fig. IV.27). Pe baza a numeroase studii și cercetări experimentale, efectuate în special după cel de al doilea război mondial, s-a ajuns la concluzia că valoarea minimă a energiei de rupere la încovoierea prin șoc, care dă siguranță contra ruperii fragile, este de $2,8 \text{ daJ}$, oricare ar fi temperatura la care se încearcă epruvetele.

Temperatura T_{Kv} corespunzătoare ruperii epruvetei la valoarea $2,8 \text{ daJ}$ a energiei de rupere, se numește temperatură critică de rupere fragilă sau temperatura de tranziție a rezilienței, care este diferită de la o calitate de oțel la alta.

Valoarea energiei de rupere la probele laminate la cald depind și de direcția de laminare; valoarea energiei de rupere în direcția transversală laminării.

la temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$. Tendința de îmbătrînire a oțelului se apreciază prin scăderea procentuală a valorii rezilienței pe epruvete îmbătrînite față de valorile obținute pe epruvete neîmbătrînite la aceeași temperatură. Cele mai multe prescripții cer ca valoarea rezilienței pe epruvete îmbătrînite să nu coboare sub 50% din valoarea rezilienței pe epruvete neîmbătrînite artificiale.

În cazul aliajelor de aluminiu încercările de rupere la încovoiere prin șoc nu pun în evidență pierderea calităților plastice ale materialului.

7. RUPEREA FRAGILĂ

a. Modul de manifestare

Ruperea fragilă, manifestându-se fără deformării prealabile sau cu deformări foarte mici, este periculoasă pentru elementele de construcții, putînd provoca accidente grave. Același oțel, în anumite condiții, se poate comporta tenace sau fragil.

Starea de comportare fragilă este influențată de mai mulți factori: caracteristicile materialului, temperatura, existența unor concentrări de eforturi, starea de solictare, viteza de solictare, concepția constructivă și tehnologia și modul de execuție al construcției. Situația este cu atît mai favorabilă ruperii fragile cu cît se suprapun mai mulți factori care contribuie la probabilitatea ruperii fragile; în general, existența unui singur factor nu duce la rupere fragilă, dacă ceilalți factori nu contribuie la aceasta într-o măsură oarecare; cînd unul sau mai mulți factori defavorabili nu pot fi eliminați este necesar să se acționeze asupra celorlalți factori.

Atingerea limitei de curgere și chiar depășirea ei nu conduce în orice situație la o rupere fragilă. Pentru ca ruperea fragilă să aibă loc, este necesar ca în zona în care se atinge limita de curgere să nu mai fie posibil să se dezvolte deformării plastice; în aceste condiții, amorșindu-se o fisură, aceasta se propagă foarte repede pînă unde înfînște zone de material cu proprietăți plastice bune. Ca urmare, într-un element de construcție oarecare, de exemplu într-un recipient, ruperea fragilă se poate limita pe o lungime oarecare, dacă în zonele vecine nu mai sînt condiții favorabile dezvoltării și propagării ruperii fragile; în cazul cînd condițiile favorabile ruperii fragile există pe zone întinse, ruperea fragilă poate duce la distrugerea bruscă a întregului element. Atingerea limitei de curgere a materialului poate avea loc din suprapunerea peste eforturile unitare, rezultate din acțiunile pe baza cărora s-a dimensionat construcția, a altor eforturi unitare provenind din alte cauze, care, în general, nu sînt în mod obișnuit determinate prin calcule, cum ar fi unele concentrări de eforturi, eforturi provocate de sudare etc. Valoarea limitei de curgere obișnuită a materialului poate fi coborîtă mult în unele împrejurări cum ar fi în cazul stărilor de solictare complexă.

Existența unei fisuri mici, care la construcțiile sudate poate exista în suduri sau în zonele influențate termic, nu duce la o rupere fragilă dacă sub influența solicitărilor, fisura nu se propagă sau se dezvoltă și se oprește, în zonele din jurul acesteia, unde materialul își păstrează proprietățile plastice; virfulle de eforturi pe care le produce o fisură, în astfel de situații, se distribuie zonelor vecine și în zona fisurii se produce o descărcare de eforturi; ruperea nu se mai propagă.

Ruperea cu un caracter fragil poate să apară și când solicitarea se aplică brusc la valori cu mult peste ceea ce poate suporta materialul, cum ar fi de exemplu în cazul unei explozii într-un recipient închis; în acest caz, amorsarea are loc de obicei în același timp în mai multe puncte.

Ruperea fragilă, în general, poate să se producă atunci când este favorizată de diferiți factori, chiar la eforturi unitare calculate, ale căror valori sînt sub limita de curgere a materialului, la solicitări staționare sau în cregtere. O astfel de rupere de obicei se amorsează într-o singură zonă, redusă, unde condițiile sînt cele mai favorabile amorsării fisurii.

Ruperi fragile se pot întâlni la diferite tipuri de construcții, în general sudate, cum sînt: recipientii, conductele, grinzii cu inimă plină, grinzii cu zăbrele și altele; în unele situații pot apărea și la construcții nituite.

b. Influența materialului

Materialul poate prezenta, în anumite situații, tendința spre rupere fragilă. Sensibilitatea la rupere fragilă a oțelului este influențată de modul de elaborare, de compoziția chimică și altele. Oțelul necalmat este mult mai sensibil la ruperi fragile decât cel calmat; oțelul calmat, mai ales dacă este deoxidat suplimentar cu Al și Ti, trece în stare fragilă la temperaturi joase, de obicei sub -20°C . O influență asupra sensibilității la rupere fragilă o au și unele elemente componente de bază sau insotitoare. Carbonul, în proporții peste 0,20%, ridică temperatura de trecere în stare fragilă, chiar peste zero grade când procentul este prea mare. Fosforul și azotul ridică de asemenea temperatura de trecere în stare fragilă, deoarece în anumite procente produc în măsură mare compuși fragili; un procent de 0,01% P ridică temperatura critică de rupere fragilă cu aproximativ 6°C . Siliciul, la oțelurile carbon, când procentul se menține între 0,15 și 0,40%, reduce sensibilitatea la rupere fragilă. În general, adaosurile care se folosesc pentru a se obține o bună deoxidare, cum sînt Al, Ti, V, micsorează sensibilitatea la rupere fragilă; în același sens acționează și adaosurile care ajută la formarea la temperaturi înalte a unor nitruuri sau carburi stabile, cum este Cr. Au o rezistență bună la ruperi fragile oțelurile care au și își mențin și după sudare o granulație fină.

Laminarea are de asemenea o influență asupra sensibilității la rupere fragilă, o temperatură de sfișit de laminare mai joasă influențează defavorabil temperatura critică de rupere fragilă; tablele groase sînt mai sensibile

la rupere fragilă decât cele mai subțiri; această sensibilitate este mai marcată la tablele cu grosimi peste 20—25 mm.

Efecte defavorabile sînt produse și de neuniformitățile structurale, ca incluziuni, segregări; oțelurile cu grăunții fini și cu incluziuni mici și cît mai uniform repartizate în masa oțelului au o sensibilitate la rupere fragilă mai redusă.

Îmbătrînirea oțelului contribuie la apariția ruperii fragile, datorită precipitațiilor dure din rețeaua de ferrită, care împiedică dezvoltarea deformațiilor plastice.

Cea mai mare tendință spre îmbătrînire o au oțelurile Thomas necalmate. Oțelurile slab aliate, fiind elaborate mai îngrijit, asigură într-o măsură mai mare o bună rezistență la rupere fragilă.

Se pune problema dacă temperatura de tranziție T_{KV} , stabilită pe criteriul $KV \geq 2,8 \text{ daJ}$, oferă siguranța necesară pentru evitarea ruperii fragile a unor elemente de construcții. Încercările de laborator pe epruvele cu crespătătură la încoviere prin soc, la o anumită temperatură, caracterizează proprietatea materialului respectiv de a se comporta la această încercare: cum condițiile în care se găsește materialul în construcție sînt diferite de cele de laborator, valorile energiei de rupere prin soc pot da unele indicații asupra tendinței de rupere fragilă a materialului, fără a constitui un criteriu univ. Temperatura care produce ruperea materialului, în condițiile în care se găsește materialul în construcție, adică *temperatura de tranziție a construcției*, este diferită de temperatura de rupere fragilă a epruvetelor în laborator. Numeroase cercetări arată că ruperea fragilă a unui element de construcție are loc, în general, la temperaturi mai ridicate sau cel mult egale cu temperatura de tranziție la rupere fragilă T_{KV} a materialului, stabilită în laborator. Încercări și studii pentru a stabili metode de determinare cu suficientă siguranță a temperaturii de tranziție a materialului în construcție se fac continuu, fără ca până în prezent să se ajungă la criterii suficient de sigure și cu aplicare largă.

Aliajele de aluminiu sînt mai puțin sensibile la rupere fragilă; aliajul de aluminiu își păstrează, în general, proprietățile plastice la temperaturi scăzute.

c. Influența temperaturii

Temperaturile scăzute favorizează apariția ruperilor fragile, în funcție și de calitatea oțelului respectiv; sînt oțeluri care nu sînt sensibile la ruperi fragile chiar la temperaturi de -30 la -50°C . Temperatura care se ia în considerare este aceea pe care o are oțelul în construcție și nu temperatura mediului ambiant care poate fi diferită. Temperatura scăzută, dacă nu sînt și alte elemente care să favorizeze ruperea fragilă, nu produce singură o distrugere a materialului. Unul din elementele favorizante este materialul, care, după cum s-a arătat, trebuie ales fiindu-se seama și de temperatura la care se va găsi în exploatare; sînt însă multe construcții metalice executate

din oțeluri obișnuite, care se comportă bine și la temperaturi scăzute, fiindcă, în general, ruperea fragilă este un fenomen complex, provocat de suprapunerea mai multor factori defavorabili. Sint construcții metalice care se găsesc în exploatare permanent sau aproape tot timpul la temperaturi joase, datorită proceselor tehnologice; altele sint supuse obișnuit unor solicitări mari concomitent sau nu cu variații de temperatură, care ating la valori foarte scăzute; într-o asemenea situație, pe lângă atenția ce trebuie acordată tuturor factorilor în vederea reducerii efectelor favorabile ruperei fragile, trebuie ales un oțel care și păstrează proprietățile plastice la temperaturile scăzute din timpul exploataării.

d. Influența concentrărilor de eforturi

Concentrări de eforturi se întâlnesc la majoritatea construcțiilor metalice; sint cauzate de găuri, creștături, variații bruște de secțiuni și alte neregularități; alte eforturi, care conduc la concentrări sau se suprapun celor produse de cauzele arătate, au naștere în urma procesului de încălzire și răcire ca urmare a operațiilor de sudare. În cordanele de sudură sau în zona influențată termic pot apărea unele fisuri, mici în general, astfel așezate în raport cu direcția eforturilor, înct dau naștere la concentrații de eforturi pe marginile lor.

Nivelul valorilor acestor concentrări de eforturi și a celor remanente din sudare este în general mare, putând atinge limita de curgere. Alți concentrații de eforturi cît și eforturile din sudare nu pot fi determinate prin calcul în mod precis; unele concentrări de eforturi, produse de exemplu de găuri, pot fi calculate cu oarecare aproximație. În condiții normale, dacă la eforturile unitare calculate se adaugă eforturile din concentrații sau cele remanente se poate atinge limita de curgere a materialului; în general limita de curgere poate fi depășită, fără pericol de rupere, dacă eforturile unitare totale rămîn sub rezistența de rupere. În cazul cînd în secțiunea respectivă există un defect, de exemplu o fisură, vîrfurile de eforturi se pot opri la limita de curgere, o parte din eforturi trecînd asupra zonei vecine, dacă acestea au suficientă calitate de tenacitate și fisura nu se propagă mai departe; cînd materialul este lipsit de proprietăți plastice, fisura se dezvoltă, reduce secțiunea și concentrațiile de eforturi se accentuează. În aceste condiții se poate amorsa o rupere fragilă, deoarece concentrațiile de eforturi constituie una din cauzele care favorizează ruperea fragilă. Pentru a se amorsa și propaga o rupere fragilă este însă necesar ca, pe lângă concentrațiile de eforturi sau eforturile din sudare, să existe și alte cauze favorizante, cum ar fi temperatura scăzută, material care se comportă fragil la temperaturi joase, stări de eforturi biaxiale defavorabile și altele.

e. Influența stării de eforturi

În cazul solicitărilor simple, sub aspectul ruperei fragile, întinderea este mai periculoasă decît compresunea. Într-o stare de solicitare pe două direcții, sensul solicitărilor și raportul valorilor lor pot favoriza apariția fenomenului

de rupere fragilă; în unele situații, așa cum s-a arătat la analiza efectelor stărilor de eforturi, limita de curgere poate fi coborîtă sau ridicată mult, reducîndu-se, în acest din urmă caz, domeniul plastic. Eforturile unitare produse de diferite acțiuni în starea de eforturi biaxială se pot suprapune defavorabil peste eforturile date de diferite concentrații și de sudare și astfel înct să creeze o stare de solicitare favorabilă ruperei fragile. Într-o stare de eforturi triaxială situația este asemănătoare, unele consecințe putînd fi amplificate.

Dacă prin diferite măsuri constructive și de execuție nu este posibil să se reducă concentrațiile de eforturi și eforturile din sudare, se impune ca nivelul eforturilor unitare determinate prin calculul de rezistență să fie menținut sub valoarea rezistenței de calcul, într-o măsură care să reducă pericolul de rupere fragilă, după cum se va vedea în cele ce urmează.

f. Influența vitezei de solicitare

În cazul solicitărilor statice încărcarea crește și descrește lent și continuu de la valoarea zero la o valoare maximă și acționează permanent sau un timp oarecare. Viteza de creștere a eforturilor în elementele construcției în acest caz nu pune, în general, probleme deosebite de comportare a materialului. Cînd însă încărcarea crește cu o viteză mare, pornind de la zero sau de la o valoare oarecare, se pun unele probleme în legătură cu comportarea materialului și mai ales cu posibilitatea distrugerii pieselor prin rupere fragilă. Viteza de propagare a deformațiilor elastice este foarte mare, pe cînd a deformațiilor plastice este mult mai mică. O viteză mare de dezvoltare a eforturilor de întindere mărește domeniul elastic, deoarece dezvoltarea deformațiilor plastice nu are timpul necesar să se producă. Cînd încărcarea este aplicată brusc cu întreaga valoare finală, mici deformațiile elastice nu se mai dezvoltă progresiv, ceea ce influențează comportarea materialului; un caz tipic îl constituie explozia, care conduce la rupere cu aspect fragil.

În general, este posibil ca la o aplicare a încărcării cu viteză mare să se producă ruperea materialului la eforturi unitare mai mici decît cele calculate.

Această comportare este favorizată de existența altor factori care favorizează ruperea fragilă; viteza mare de aplicare a încărcării face ca influența altor factori favorizanți să se accentueze.

g. Influența concepției constructive

Modul cum este aleasă soluția constructivă, cum sint rezolvate diferitele detalii de alcătuire și imbinare ale elementelor construcției mărima, forma și poziția cordanelor de sudură și altele au o influență importantă asupra comportării construcției și asupra cauzelor care duc la ruperea fragilă. Prin soluția constructivă adoptată și prin modul de rezolvare al detaliilor trebuie

urmărită evitarea sau, când nu este posibil, reducerea influenței concentrațiilor de eforturi; trebuie urmărit de asemenea ca rigiditatea de ansamblu și locală să nu fie exagerată, ceea ce duce la apariția fisurilor după sudare (în timpul răcirii sudurii); fisurarea și în special fisurarea la rece, care se produce în general la un timp oarecare după sudare și aplicarea încălzirilor, este considerată ca periculoasă și constituie o sursă pentru ruperea fragilă a construcțiilor metalice sudate. La rezolvarea soluției constructive trebuie avut în vedere acest pericol, analizate cauzele care ar da naștere la astfel de defecte și luate măsuri pentru eliminarea sau reducerea influenței lor; problema este complexă.

Una din căile prin care se reduce posibilitatea de fisurare constă în alegerea unor oțeluri puțin sensibile la fisurare; în același timp, fisurarea poate fi evitată și prin aplicarea unei tehnologii corecte de sudare.

Laminatele groase favorizează apariția fisurilor pe de-o parte prin faptul că proprietățile mecanice ale oțelului se micșorează în măsura în care grosimea crește, iar pe de altă parte, fiindcă deformările după sudare, în cazul laminatelor groase, sînt mult împiedicate. La proiectare, pentru a se reduce tendința de rupere fragilă, este recomandabil ca acolo unde există pericol de rupere fragilă, să fie folosite laminatate cu grosimi mici (în general sub 20—25 mm).

Sînt situații când soluția constructivă nu poate evita unele rezolvări care duc la apariția unor concentrații de eforturi, anumite forme, găuri, variații de secțiuni fiind impuse de necesități tehnologice; în asemenea cazuri trebuie dată o atenție deosebită soluțiilor de alăturare a acestora, aplicîndu-se măsuri care reduc concentrările de eforturi. Este indicat în asemenea situații să se adopte oțeluri superioare, cu o granulație fină, cu temperatură de tranziție joasă, care permit în același timp folosirea unor laminatate cu grosimi în limite acceptabile.

b. Influența tehnologiei și modului de execuție

Respectarea prevederilor din proiecte și prescripții privitor la tehnologia execuției și de sudare este o condiție necesară pentru orice construcție; abaterile de la asemenea prevederi, peste anumite limite îngăduite, pot duce la avarierea elementelor construcției și chiar la accidente. În cazul construcțiilor la care pericolul rupei fragile este de temut, aplicarea corectă a prevederilor proiectului și a instrucțiunilor pentru confecționarea, sudarea și montajul acestor construcții trebuie făcută și controlată cu foarte multă grijă.

Uzina sau șantierele care confecționează elementele metalice ale construcției trebuie să ia măsurile necesare ca în lucrare să fie introduse oțeluri cu calitățile prevăzute în proiect, asigurîndu-se aceasta eventual și prin verificări de calitate făcute în laboratoarele proprii; laminatatele nu trebuie să prezinte defecte neadmisibile ca: dimensiuni neconforme, exfolieri, supra-puneri de material, șanțuri etc.

Tehnologia de sudare trebuie să asigure calitățile sudurilor indicate în proiecte. Calitățile materialelor folosite la sudare vor fi prevăzute corespunzător necesităților, ținînd seama că la obținerea calității intervine ansamblul material de bază plus material de adaos. În afara respectării formei și dimensiunilor cordoanelor de sudură, este necesar ca tehnologia aplicată să evite apariția fisurilor la cald și la rece. De asemenea, trebuie ținut seama de faptul că în special concentrații de eforturi, care apar deseori ca urmare a sudării, favorizează într-o măsură însemnată producerea fisurilor; acești concentrații sînt datorate în special incluziunilor de zgură, creștăturilor, porilor, lipsei de pătrundere, segregărilor etc. Pătrunderea hidrogenului în materialul cordoanelor de sudură favorizează, în cele mai multe cazuri, fisurarea la rece.

Tehnologia de sudare va urmări să reducă în măsură cît mai mare tensiunile remanente rezultate din sudare, care constituie o sursă a rupei fragile. Se va evita de asemenea, prin măsuri tehnologice, dezvoltarea unor concentrații dure în zona influențată termic. O importanță deosebită pentru obținerea rezultatelor dorite o au și poziția în care se sudează și ordinea de sudare.

Prevederile din proiect și instrucțiunile care se aplică la execuție trebuie să aibă în vedere felul construcției: construcție obișnuită, de importanță deosebită, recipient, recipient de presiune etc. În cazul cînd, la recepția lucrărilor, sînt necesare încercări de probă, acestea se prescriu prin proiect, incluzîndu-se și condițiile în care se fac.

Controlul executării lucrărilor, inclusiv al sudurilor, trebuie precizat prin proiect, instrucțiuni tehnice etc.; sudurile, în cazul construcțiilor la care se impune evitarea rupei fragile, trebuie controlate cu mijloace perfecționate (raze X, raze gamma etc.); în proiect se vor indica sudurile la care este necesar un control 100%.

i. Măsuri de luat la proiectare pentru evitarea rupei fragile

Proiectarea trebuie să urmărească în primul rînd evitarea sau cel puțin reducerea în măsură cît mai mare a diferitelor influențe favorabile rupei fragile. Calculele obișnuite de rezistență nu dau singure siguranța necesară împotriva rupei fragile. În ultimele decenii au fost făcute în diferite țări numeroase studii și cercetări în scopul de a se stabili cauzele care contribuie la ruperea fragilă și a se găsi cîți și metode de apreciere a diferitelor situații defavorabile în care se va afla construcția, metode a căror aplicare să permită realizarea unor construcții la care pericolul rupei fragile să fie eliminat. Metodele de încercare, propuse pentru stabilirea unor astfel de criterii și în special pentru a se determina sensibilitatea la rupere fragile, iau în considerare, în general, un singur factor de influență sau, în unele cazuri, o parte numai din totalitatea acestor factori, datorită complexității operațiilor de încercare; pe de altă parte, rezultatele încercărilor făcute în anumite condiții de laborator nu se pot extinde cu siguranța necesară la diverse alte situații și mai ales oricăror construcții supuse acțiunilor complexe din timpul exploa-

tării. Unele din rezultatele acestor cercetări au ajuns totuși la forme care le fac aplicabile cu destul succes unor categorii speciale de construcții; în unele țări au pătruns chiar în diverse instrucțiuni. Reguli cu o aplicare largă, unanim acceptate, nu sînt încă elaborate pînă în prezent. Pentru construcțiile metalice sudate, folosite la diferite obiecte din domeniul construcțiilor civile și industriale, se pot desprinde unele recomandări, utile proiectanților, fie pentru alegerea materialelor, fie pentru a se orienta la fixarea gradului de siguranță al construcției, fiind seama și de pericolul ruperii fragile.

Prescripțiile din țara noastră (STAS R 8542-70) recomandă, în scopul asigurării construcțiilor sudate contra ruperii fragile, să se aleagă clasa de calitate a oțelurilor după o serie de criterii care țin seama de temperatura la care se va găsi construcția în exploatare, de grosimea laminelor folosite, de forma elementului de construcție și de modul cum este realizat prin sudură, de importanța pe care o are elementul de construcție și de natura solicitărilor.

Prescripțiile au adoptat noțiunea de pericolozitate, care se exprimă printr-o expresie de forma

$$G = K \cdot S \cdot B \quad (IV.29)$$

în care notațiile au următoarea semnificație:

K ține seama de forma și de modul cum sînt realizate diferitele elemente de construcție prin sudură și de modul cum sînt solicitate, de centrările și eforturile remanente care pot rezulta; în funcție de aceste elemente se atribuie coeficientului K una din valorile 1,0, 1,4 sau 2,0;

S are în vedere importanța elementului de construcție, care poate fi secundară, importantă sau foarte importantă; i se dă una din valorile 0,5, 0,7 sau 1,0;

B căpătă una din valorile 1,0 sau 1,4, după cum solicitările sînt statice sau dinamice.

Cu aceste valori introduse în relația (IV.29), se obțin pentru coeficientul de pericolozitate diferite valori, care se rotunșesc la 0,5, 0,7, 1,0, 1,4, 2,0 sau 2,8. Pentru alegerea clasei de calitate a oțelului se are în vedere și temperatura la care se va găsi construcția în exploatare, grosimea laminelor și felul solicitării, înțindere sau compresivă; prescripțiile au în vedere și deformările plastice eventuale la care au fost supuse unele elemente de construcții înainte de a fi puse în operă.

Pe baza acestor elemente, cu ajutorul tabelului IV.2, reprodus din STAS R 8452-70, se alege clasa de calitate a oțelului ce trebuie folosit, considerîndu-se astfel că, din punct de vedere al materialului, pericolul ruperii fragile este îndepărtat. Se precizează că temperaturile indicate în tabel nu sînt cele la care se face încercările pentru determinarea energiei de rupere a epruvetelor la încovoiere prin șoc, aceste încercări servind numai la determinarea clasei de calitate a oțelului.

Clasele de calitate ale oțelurilor pentru construcții sudate

TABELUL IV.2

Elemente sudate	Coeficient de pericolozitate $G = K \cdot S \cdot B$ și temperatura de exploatare			Grosimea produsului, în mm								
	Peste +15°C	+15°C -10°C	-10°C -25°C	Sub -25°C	5	10	15	20	25	30	35	40
					Clasa 1							
Solicitare la întindere	—	—	—	2,8								
	—	—	2,8	2,0								
	—	2,8	1,4	1,0								
	2,8	2,0	1,4	1,0								
Solicitare la compresivă	—	—	—	—								
	—	—	0,5	—								
	—	0,7	0,5	—								
	1,0	0,7	0,5	—								
Deformare moderată	Peste -25°C											
	Sub -25°C											
Deformare plastică la rece	Peste -25°C											
	Sub -25°C											

Notă. — Deformarea moderată prin îndoire cînd raza întindere este mai mare sau egală cu 10 t și prin profilare cînd deformarea specifică e este mai mare decît 2,5% și cel mult 5%.

— Deformare puternică prin îndoire cînd raza este sub 10 t și prin profilare dacă e este mai mare decît 5%.

— t grosimea produsului, în mm.

Din examinarea tabelului IV.2 rezultă că, în anumite condiții, la construcții care în exploatare s-ar găsi la temperaturi de +10°C, este necesar să se aleagă laminate din clasa a 4-a, dacă grosimea lor este peste 20 mm. Prevederile dau indicații utile, dar nu în toate cazurile suficiente; este ne-

cesar să se acționeze și asupra altor factori, pe care prevederile nu-i pot preciza sau lua în considerare. Trebuie avut în vedere că prevederile, înlesnind în cazul coeficienților K și S , conțin elemente de apreciere care depind de interpretarea care se dă unei anumite rezolvări și care este influențată și de prieterea și experiența proiectantului.

Indicarea clasei de calitate 4, fără o altă specificare, nu este suficientă în toate cazurile; la temperaturi sub -20°C și chiar la unele superioare acestei valori, se poate să se impună oțelului clasa 4 I, cu energie de rupere garantată la -30°C sau clasa 4 II, cu energie de rupere garantată la -40°C .

Din tabelul IV.2 mai rezultă că, în multe cazuri, temperatura la care se face încercarea de laborator pentru determinarea energiei de rupere prin soc, determinată de clasa de calitate necesară, este cu mult sub intervalul de temperaturi corespunzător exploatații construcției.

Această situație este confirmată și de alte cercetări care urmăresc să determine temperatura de tranziție a materialului în construcții, la rupere fragilă, care este, în cele mai multe cazuri, diferită de temperatura de tranziție determinată în laborator și mai sus decât aceasta. După caz, temperatura de tranziție a materialului în construcție poate fi mai ridicată cu $5 \dots 15^{\circ}\text{C}$ și chiar 20°C decât temperatura de tranziție determinată pe epruvete; rezultă că este indicat în asemenea situații, în funcție de pericolul rupei fragile, să se aleagă clasa de calitate a oțelului pe baza unor încercări derupere prin soc la temperaturi cu cel puțin $5 \dots 10^{\circ}\text{C}$ sub temperatura la care materialul se va găsi în construcție.

Alte cercetări urmăresc să dea unele elemente pentru aprecierea gradului de siguranță contra rupei fragile; pericolul rupei fragile depinde în mare măsură și de nivelul valorilor eforturilor unitare determinate pe baza calculului de rezistență sub efectul acțiunilor obișnuite pentru dimensionarea construcțiilor. În cazul când aceste eforturi unitare sînt foarte mici, de ordinul a $0,3 \sigma_s$, după unele păreri, nu există pericolul rupei fragile; acest pericol crește în măsura în care eforturile unitare calculate se apropie de limita de curgere. Normele nu conțin prevederi care să permită ca verificarea la rupere fragilă să fie făcută prin calcule, deoarece nu se dispune încă de date suficiente și sigure care să permită luarea în considerare a acestui fenomen prin calcul. Totuși, în anumite situații speciale, când ruperea fragilă ar duce la consecințe grave, proiectantul poate adopta măsura de a menține eforturile unitare calculate sub rezistența de comparativă, fără a exagera și numai după ce a aplicat consecvent și în măsura necesară toate mijloacele care conduc la reducerea efectelor care favorizează ruperea fragilă. Aceasta înseamnă a multiplica rezistența de calcul cu un coeficient al condițiilor de lucru subunitar, fapt admis în general și în alte situații, apreciate de proiectant.

Ruperea fragilă trebuie considerată ca un fenomen obișnuit în construcții care se manifestă atunci cînd sînt condiții favorabile. În decursul timpului și alte fenomene au produs îngrijorări și au creat probleme pentru constructori. Flambajul barei drepte, insuficient cunoscute într-o epocă de dezvoltare

a construcțiilor, a dus la grave accidente; astăzi, acest fenomen este cunoscut și bine stăpînit de proiectanți. Ruperea prin oboseală, atunci cînd a început să fie semnalată, a provocat o adevărată panică printre ingineri; prin studii și cercetări s-a ajuns repede ca și acest fenomen să fie stăpînit.

Astăzi, deși nu se dispune de metode de calcul pentru aprecierea gradului de siguranță la rupei fragile, sînt însă suficiente elemente care permit ca printr-o proiectare și execuție aplicate în mod corespunzător în diferite situații, să se limiteze și chiar să se evite distrugerea prin rupere fragilă.

8. DISTRUGEREA OTELULUI ȘI A ALIAJELOR DE ALUMINIU PRIN COROZIUNE

a. Procesul de coroziune

Coroziunea metalelor este înlesnită de tendința pe care o au metalele ca, sub acțiunea unor agenți care se găsesc în atmosferă, să formeze combinații de felul celor în care acestea se găsesc în natură (oxizi). Coroziunea poate fi chimică sau electrochimică.

Coroziunea chimică este produsă de acțiunea lichidelor sau gazelor asupra metalului, procesul fiind chimic, și apare în cazuri speciale.

Coroziunea electrochimică se dezvoltă în urma proceselor electrochimice pe suprafața metalului sub influența umezelii. Constituie tipul caracteristic de coroziune în cazul construcțiilor metalice obișnuite.

Diferite gaze, săruri etc., care se găsesc în atmosferă, se dizolvă în apă care într-o formă oarecare vine în contact cu metalul și formează soluții electrolitice.

Metalele, în apă sau în contact cu oarecare cantitate de apă, au tendința de a dizolva cationii săi în soluție; ioni (cu sarcină pozitivă) se desprind de pe fața metalului și trec în soluție. Stratul exterior al metalului în aceste zone rămîne cu o sarcină negativă, din cauza excesului de electroni, care nu trec în soluție, iar stratul de apă de pe suprafața metalului capătă o sarcină pozitivă (fig. IV.28). Între metalul din soluție, apă și oxigen au loc o serie de reacții, din care rezultă hidrați de metal, de exemplu $\text{Fe}(\text{OH})_2$ și $\text{Fe}(\text{OH})_3$, care se depun pe fața metalului în diferite puncte. Apar astfel o serie de pete care cu timpul se măresc și se înînd. Existența acestor pete de mărimi diferite și izolate, o mare parte din suprafața piesei de metal rămînd neatacată, dovedește că se petrec reacții de natură electrochimică; în prezența electrolitului se formează electrocuple între diferite puncte

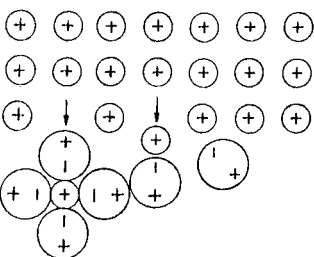


Fig. IV.28. Trecerea cationilor în soluție.



Fig. IV.29. Corozivne intercristalină.

La piesele de oțel care s-ar găsi în aer liber, se poate forma o poșgăniță subțire de apă pe suprafața lor ca rezultat al condensării; în adănciturii sau în locuri cu neregularități se adună apă fie direct, fie prin absorbirea umidității din aer și intensitatea corozivității crește. Corozivitatea poate fi activată și de existența în soluție a unor substanțe ca SO_2 , Cl_2 , $NaCl$ etc. Pe măsură ce se formează, în rugina constituită din mediu absorbant datorită porozității, contribuie la întinderea corozivității.

Corozivitatea intercristalină, care se dezvoltă între cristale, pe fețele lor în contact, apare mai rar în cazul oțelurilor carbon, din cauză că în straturile interioare ionii pozitivi de fier se desprind mai greu. Poate însă să apară corozivitate intercristalină în zonele în care rețeaua a fost mult deranjată, cum este cazul zonelor deformate plastic; de asemenea, se pot produce pătrunderi de la suprafață spre interior în locurile unde sînt condiții active sau de lungă durată. În fig. IV. 29 se vede un început de corozivitate intercristalină la interiorul unei țevi din oțel carbon.

Aluminiul și aliajele de aluminiu se acoperă repede cu o poșgăniță subțire de oxid de aluminiu, care împiedică oxidarea mai departe a metalului; sînt și oțeluri la care apare o poșgăniță protectoare, cum este oțelul romcor.

b. Factorii care influențează corozivitatea

Metalele pure, în condiții egale, sînt expuse mai puțin corozivității decît metalele care conțin diferite impurități. Creșterea conținutului de carbon micșorează rezistența la corozivitate; minimum de rezistență îl are oțelul eutectoïd, după care rezistența la corozivitate crește din nou, fonta fiind practic necorozivă. Gradul de rezistență la corozivitate se modifică prin diferite adaosuri. Siliciul, în cantități mici, este neutru; în cantități mai mari favorizează procesul de corozivitate. Sulfur, dar mai ales cromul și cuprul, ridică rezistența

apropiate de pe fața metalului. Diferența de potențial apare din cauza neuniformității structurii suprafeței, a contactului diferit dintre electrolit și metal, din cauza impurităților metalului etc.

În cazul oțelurilor ruginate depusă este poroasă și nu formează un strat de protecție; într-o măsură oarecare îngreunează contactul electrolitului și al oxigenului cu metalul și contribuie prin aceasta la deplasarea microcuplelor.

la corozivitate a oțelului; nichelul și fosforul acționează în același sens, dar într-o măsură mai mică. În general, adaosurile care intră în soluție solidă ridică rezistența la corozivitate, deoarece întăresc rețeaua cristalină și îngreunează separarea ionilor de fier. Oțelurile care conțin sulfuri, impurități și orice amestecuri neomogene ruginesc mai ușor; oțelurile Thomas și Bessemer sînt mai puțin rezistente decît oțelurile Martin.

Starea de tensiune a materialului poate micșora rezistența la corozivitate, pe de-o parte prin ruperea poșgăniței superficiale, care asigură o oarecare protecție, iar pe de altă parte, prin slăbirea legăturilor dintre atomi; ruginesc ușor oțelurile deformate plastic și zonele cu concentrări de eforturi. Temperatura ridicată favorizează corozivitatea; la temperaturi înalte au loc și procese de corozivitate chimică.

Umiditatea este elementul esențial în dezvoltarea corozivității; diferiți acizi, săruri, gaze, înoseabi acelea care conțin sulf și cărbune, activează procesul de corozivitate.

Procesul de corozivitate în cazul aluminiului și al aliajelor de aluminiu este puțin diferit. Pe fața pieselor de aluminiu, în contact cu aerul, se formează un strat de oxid de aluminiu, foarte compact și aderent, care protejează mai departe metalul împotriva corozivității. Într-o atmosferă cu multe gaze sau săruri, corozivitatea aliajelor de aluminiu se poate produce destul de intens; unele aliaje sînt rezistente și în astfel de situații (cele cu magneziu), altele mai puțin (cele cu siliciu).

Aluminiul și aliajele de aluminiu corodează ușor în contact cu alte metale, cum ar fi cu oțelul; de asemenea, se micșorează rezistența la corozivitate în contact cu betonul și cu mortarele.

c. Distrugerea prin corozivitate

Distrugerea prin corozivitate a construcțiilor metalice produce pagube mari. Se apreciază că aproape 10% din metalul introdus în diferite construcții se pierde prin corozivitate și că 25—30% din el este scos din folosință ca urmare a slăbirilor pe care le aduce corozivitatea. Efectele corozivității sînt însă diferite după situații; în unele cazuri, cum sînt construcțiile din apropierea furnalelor, secțiilor de aglomerare, de granulare a zgurii etc., corozivitatea este foarte intensă; în altele, efectele corozivității sînt foarte reduse. O imagine asupra efectului corozivității este dată în graficul din fig. IV.30.

Corozivitatea se manifestă în mod diferit, după forma construcției și după condițiile în care aceasta se găsește.

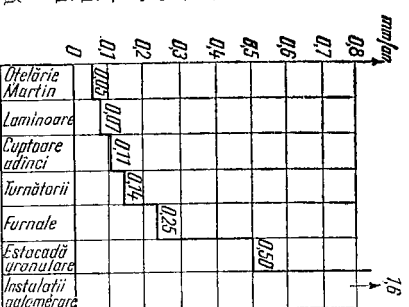


Fig. IV.30. Pierderi prin corozivitate.

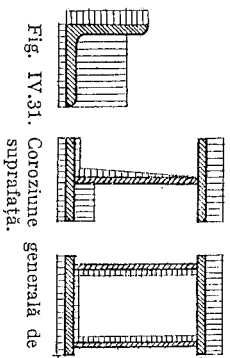


Fig. IV.31. Corozione generată de suprafață.



Fig. IV.32. Corozione locală.

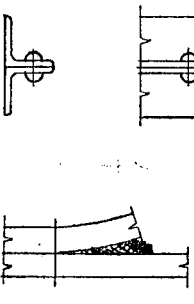
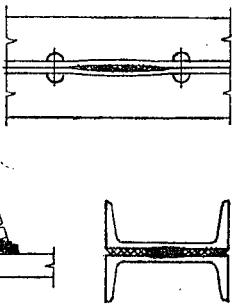


Fig. IV.33. Corozione în spațiul dintre piese.

acesta a provenit, este aproximativ 2,0 la Fe și 1,3 la Al.

În mod asemănător se produce ruginirea la interior în cazul pieselor formate din elemente apropiate, insuficient strinse (fig. IV. 33).

Pentru a reduce efectul coroziunii asupra secțiunii elementelor de construcție, între altele, acolo unde sunt condiții care favorizează coroziunea, este indicat să se adopte elemente care, la aceeași suprafață a secțiunii, suprafața exteroară este cît mai mică.

La construcțiile obișnuite coroziunea se produce sub efectul atmosferei; efectele pot fi uniforme sau locale. Coroziunea uniformă apare atunci cînd elementele construcției nu prezintă forme care ar putea favoriza dezvoltarea locală a coroziunii. În condițiile reale nu se poate vorbi despre o coroziune uniformă decât foarte rar, deoarece elementele construcției sînt expuse diferit prăfului, umezeții și deei și acțiunea de coroziune este diferită. Părțile unui element de construcție pe care se adună praf, pe care apa poate stagna mai mult timp ruginesc mai repede și mai intens decât acelea care se usucă repede (fig. IV. 31).

Mai des întîlnite și mai periculoase sînt distrugerile prin coroziune locală. Piesele construcțiilor metalice au diferite locuri unde continuitatea dispare dintr-o cauză oarecare, unde stratul de protecție este deteriorat sau unde suprafața metalului prezintă mici adhecturi. În aceste locuri praful și umezeala se mențin mai ușor și rețeaua cristalină este slabită. Aici se formează ușor diferențe de potențial și se dezvoltă repede și mai intens coroziunea electrochimică (fig. IV 32). Umezeala poate pătrunde ușor între piesele elementelor care nu sînt suficient de bine strinse. Rugina, care este rezultatul coroziunii, are un volum mult mai mare decît metalul din care a provenit. Cînd se produce rugină între piese, acestea pot fi deformate și supuse la eforturi foarte mari.

Raportul între volumul oxidului rezultat din coroziune și volumul metalului din care

V. METODE DE PENTRU CALCULUL CONSTRUCȚIILOR METALICE

1. ACȚIUNI, SOLICITĂRI

a. Acțiuni

Prin acțiune se înțelege orice cauză care produce în elementele unei construcții sau în ansamblul construcției eforturi sau deformații. Acțiunile sînt de diferite categorii și proveniențe; pot fi permanente sau variabile. Prin *acțiuni permanente* se înțelege acele acțiuni care practic solicită construcția pe toată durata ei la valori constante, cum sînt greutatea proprie și încărcările date de greutatea elementelor construcției, greutatea și presiunea pămîntului, acțiunea precomprimării, iar prin *acțiuni variabile* se înțelege acele acțiuni care solicită construcția cu intensități variabile și la intervale oarecare de timp, cum sînt încălzirile din exploatare, acțiunile climatice, acțiunea cutremurului etc.; acțiunile variabile au un caracter temporar de durată mai lungă, mai scurtă sau foarte scurtă și uneori se definesc ca acțiuni temporare.

Acțiunile se pot manifesta *direct* prin forțe, cînd se numesc *acțiuni directe*, cum sînt acțiunile permanente și variabile sau prin *deformații impuse* datorite unor cauze ca efectele termice, precomprimarea, eforturile reziduale, deplasările neegale ale reazemelor, cînd se numesc *acțiuni indirecte*.

Din punct de vedere al modului cum se face calculul și analiza siguranței construcției, în cazul acțiunilor variabile, prezintă un interes deosebit frecvența și intensitatea cu care se manifestă acestea; unele acțiuni apar frecvent la valori ridicate, altele, deși frecvente, apar rar la valori ridicate, iar unele apar la valori ridicate, însă în mod excepțional, cum este acțiunea cutremurului.

Pentru calculul și verificarea construcțiilor este necesar să se cunoască valorile la care acestea încearcă elementele construcției, valori care se folosesc în diferite calcule.

Greutatea permanentă a diferitelor elemente este determinată pe baza dimensiunilor din proiect și a greutateii tehnice a materialelor, considerată cea mai defavorabilă în condițiile de utilizare; în unele cazuri se iau greutatețile specifice de fabricile producătoare. Forțele datorite precomprimării se stabilesc pe baza normativelor de specialitate, ținînd seama de variațiile în timp și de modul în care se face precomprimarea. Pentru greutatea și împingera pămîntului se ține seama de prevederile normelor de specialitate. În unele situații apare necesar ca greutatea permanentă luată în considerare să fie cea minimă.

Valorile *acțiunilor variabile* provenind din exploatare, din acțiuni climatice, acțiunea temperaturii, cutremurului sînt în general prevăzute în diferite norme; aceste valori sînt determinate ținîndu-se seama de diferența factori, ca destinația și importanța construcției, condițiile de execuție și exploatare, modul de manifestare a acțiunilor și altele; unele valori, cum sînt cele din acțiuni climatice și cutremur au la bază analize statistice și sînt diferențiate pe zone teritoriale, condiții locale etc. În principiu, se urmărește ca aceste valori să normalizăm cît mai bine situațiilor reale și să reprezinte valorile probabile normale maxime care pot să apară într-o perioadă lungă de timp, de obicei durata construcției. Valorile acțiunilor variabile sînt date în diferite norme și, în țara noastră, constă în valori de referință, numite *valori normale*. În cazurile cînd nu sînt prevăzute în normative, determinarea valorilor acțiunilor se face de proiectant pe baza datelor tehnologice sau pe baza datelor furnizate de fabricile producătoare.

Deformațiile impuse sînt prevăzute în norme și au la bază proprietățile fizice și mecanice ale materialelor și condiții impuse de exploatare.

b. Sollicitări

Prin *sollicitare* se înțelege orice efort sau ansamblu de eforturi ca eforturi normale, forțe tăietoare, momente încovoietoare etc., calculate pe baza acțiunilor sau unor grupe de acțiuni și care se exercită în una sau mai multe secțiuni ale unui element de construcție. Pentru determinarea sollicitărilor se iau în considerare atît *acțiunile directe* cît și cele *indirecte*.

Calculul sollicitărilor, în cazul construcțiilor metalice, se face de regulă în domeniul elastic; în unele situații se iau în considerare și unele posibilități de adaptare plastică; cu unele restricții se admite și posibilitatea determinării sollicitărilor ținînd seama de apariția în total sau în parte a articulațiilor plastice.

Sollicitările determinate pe baza acțiunilor normale se numesc *sollicitări normale*.

2. SIGURANȚA CONSTRUCȚIEI

Construcțiile metalice, ca orice altă construcție, sînt realizate astfel încît să suporte efectele maxime ale acțiunilor la care sînt supuse în timpul exploatații, montajului sau al eventualelor încercări. Pentru aceasta, concepția constructivă, dimensionarea elementelor construcției, rezolvarea diferitelor detalii, alegerea materialului și calitatea execuției în toate fazele ei trebuie să asigure că probabilitatea degradării construcției, în ansamblu sau parțial, pe toată durata de folosire este suficient de mică, probabilitate acceptată în funcție de importanța construcției și de consentimetele pe care le-ar avea de gradarea ei. Probabilitatea de degradare acceptată caracterizează *gradul de siguranță al construcției*.

Dimensionarea elementelor construcției este o parte din ceea ce este necesar să se facă pentru asigurarea siguranței unei construcții, celelalte elemente, arătate mai înainte, avînd deopotrivă rolul și importanța lor. În practică se procedează obișnuit la verificarea elementelor construcției, forma și dimensiunile fiind alese cu respectarea principiilor constructive, ținînd seama de sollicitările rezultate din acțiunile sau grupările de acțiuni cele mai defavorabile pentru elementul respectiv. În general, verificările se fac pe baza teoriei rezistenței materialelor, acceptată într-un sens larg, în stadiul elastic; criteriul de verificare de rezistență, aplicat în cele mai multe cazuri, constă în determinarea stării de eforturi periculoasă în secțiunile cele mai sollicitate ale elementelor construcției și compararea acestei stări cu o stare limită corespunzătoare. În cazul cînd elementul ce se verifică este supus la întindere sau compresie simplă, efortul care se compară este chiar efortul unitar normal determinat prin calcul, care se compară cu un alt efort unitar normal, a cărei depășire este considerată periculoasă. În cazul sollicitărilor complexe este necesar să se determine starea de eforturi produsă de acțiunile cele mai defavorabile; această stare de eforturi se compară cu o stare de sollicitare, care, la limită, produce aceleași efecte ca și starea de eforturi complexă și care obișnuit este întinderea monoaxială.

În același timp se fac și alte verificări, cum sînt cele referitoare la pierderea stabilității generale sau locale, la distrugerea prin oboseală, deformații. Determinarea eforturilor unitare σ și τ în cazul sollicitărilor simple și folosirea criteriului de comparație nu pun probleme deosebite; în cazul sollicitărilor complexe, în unele situații, criteriul de comparație impune să se determine *eforturile unitare echivalente*, care se compară cu rezistența aleasă pentru comparație.

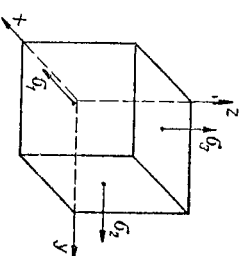
Dintre diferitele teorii privind stările echivalente, criteriul energiei specifice de variație a formei este aproape exclusiv folosit la calculul construcțiilor metalice. Acest criteriu admite că aceeași energie specifică de modificare a formei este consumată pentru atingerea stării periculoase în starea de eforturi complexă ca și într-o stare de sollicitare monoaxială. Se pune deci problema de a se determina eforturile unitare echivalente din starea de eforturi complexă care urmează să fie comparate cu o rezistență admisă în cazul sollicitării monoaxiale.

Aceasta rezultă din cele ce urmează.

Un element de volum cu laturile egale cu unitatea și paralele cu planurile principale (fig. V.1), sollicitat în domeniul elastic, considerat izolat, este supus pe fețele sale la eforturile unitare principale $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$; lucrul mecanic produs de aceste eforturi unitare este:

$$W = \frac{1}{2} (\sigma_1 \epsilon_1 + \sigma_2 \epsilon_2 + \sigma_3 \epsilon_3). \quad (V.1)$$

Fig. V.1. Sollicitare spațială.



$$\text{Înlocuind } \epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{E}; \quad \epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{E}$$

$$\text{și } \epsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} - \mu \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{E}$$

se obține

$$W = \frac{1}{2E} [(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 - 2(1 + \mu)(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]. \quad (\text{V.2})$$

Prin deformare se modifică alt volumul cit și forma cubului elementar; energia specifică de deformare W se poate separa în două părți, corespunzătoare variației volumului și variației formei cubului elementar:

$$W = W_v + W_f. \quad (\text{V.3})$$

Starea de eforturi $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ poate fi considerată ca rezultând din suprapunerea a două stări de eforturi: una care modifică volumul, cele trei eforturi unitare principale fiind egale cu σ , și alta care modifică numai forma, cele trei eforturi unitare principale la care este supus cubul fiind $\sigma'_1 = \sigma_1 - \sigma$, $\sigma'_2 = \sigma_2 - \sigma$ și $\sigma'_3 = \sigma_3 - \sigma$ (fig. V.2). Ca cea de a doua stare de eforturi să nu modifice volumul, trebuie îndeplinită condiția:

$$\epsilon_v = \frac{1 - 2\mu}{E} (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) = 0. \quad (\text{V.4})$$

Dar $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma + \sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3$,

de unde, ținând seama de relația (V.4):

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}. \quad (\text{V.5})$$

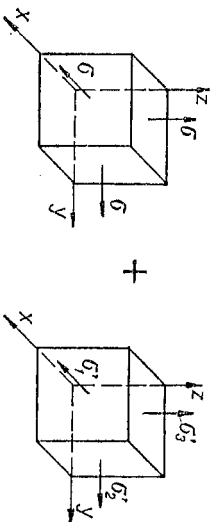


Fig. V.2. Descompunerea unei sollicitări spațiale.

Din relația (V.2), făcând $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$, se obține:

$$W_v = \frac{3(1 - 2\mu)}{2E} \sigma^2 = \frac{1 - 2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2. \quad (\text{V.6})$$

Pe de altă parte,

$W_f = W - W_v$ și înlocuind pe W și W_v cu expresiile (V.2) și (V.6) se obține:

$$W_f = \frac{1}{2E} [(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 - 2(1 + \mu)(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] - \frac{1 - 2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 = \quad (\text{V.7})$$

$$= \frac{1 + \mu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] = \quad (\text{V.8})$$

$$= \frac{1 + \mu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]. \quad (\text{V.9})$$

Ținând seama de relațiile (IV.10), (IV.8) și (IV.9), relația (V.8) devine

$$W_f = \frac{1 + \mu}{3E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x)] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2). \quad (\text{V.10})$$

Aceasta se poate scrie deoarece θ și H sînt invariabili.

În concluzie, admitînd că aceeași energie specifică de modificare a formei se consumă pentru atingerea stării periculoase în starea de eforturi complexă ca și în starea de eforturi monoaxială echivalente, se poate scrie:

$$\frac{1 + \mu}{3E} \sigma_{ech}^2 = \frac{1 + \mu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]. \quad (\text{V.11})$$

De unde

$$\sigma_{ech}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1). \quad (\text{V.12})$$

În cazul cînd se cunosc eforturile unitare normale și tangențiale în trei planuri perpendiculare, se poate scrie în mod analog:

$$\sigma_{ech}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2). \quad (\text{V.13})$$

Într-o stare de eforturi biaxiale se poate scrie:

$$\sigma_{ech}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2 \quad (\text{V.14})$$

iar cînd $\sigma_y = 0$

$$\sigma_{ech}^2 = \sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2. \quad (\text{V.15})$$

3. METODA STĂRILOR LIMITĂ

a. Principii de bază

O structură sau o parte a ei atinge o stare limită dacă ajunge în situația de a nu mai corespunde scopului pentru care a fost realizată. În cazul construcțiilor metalice se iau în considerare două stări limită:

— *starea limită de epuizare a capacității portante* (stare limită ultimă); care este atinsă prin cedarea materialului, pierderea stabilității ansamblului sau a unei părți din structură, prin ruperea prin oboseală, prin apariția unor deformări elastice sau plastice excesive care ar duce la modificarea geometriei construcției într-o măsură care ar face-o inutilizabilă;

— *starea limită a explozării normale*, care este atinsă când în structură sau în unele elemente ale construcției apar deformări mari, fisuri, care nu mai îngăduie folosirea normală a construcției.

Metoda stărilor limită este bazată pe date experimentale și teorii științifice, interpretate, pe cât posibil, în mod statistic.

Starea limită a unei structuri este atinsă ca urmare a existenței mai multor factori aleatorii, care se combină între ei și care își au originea în:

— abaterile de la proprietățile mecanice ale materialelor folosite;

— abaterile de la valorile prescise pentru dimensiunile geometrice ale laminelor și secțiunilor elementelor structurii;

— incertitudini în evaluarea valorilor acțiunilor permanente și variabile;

— unele neconcordanțe între solicitările reale și valorile calculate.

Scopul calculului este de a asigura că starea limită considerată rămâne cu o probabilitate acceptată sub o valoare stabilită pentru tipul de construcție respectiv.

Un calcul bazat pe studii probabilistice fiind complicat pentru necesitățile practice, este acceptată o metodă de calcul semiprobabilistică, mai simplă și mai ușor de aplicat, care în principiu constă în:

— determinarea valorilor caracteristice ale materialelor folosite, ținând seama de proprietățile lor mecanice și în funcție de probabilitatea ca valorile reale să rămână superioare unei limite fixate;

— determinarea valorilor normale sau caracteristice ale acțiunilor, astfel încât acestea să rămână inferioare unor valori probabile cu o abateră acceptată;

— asigurarea împotriva oricăror incertitudini prin multiplicarea valorilor caracteristice cu anumiți coeficienți, în calculele introducându-se valorile de calcul rezultate;

— verificarea că solicitările rezultate din acțiunile de calcul sînt cel mult egale cu solicitările pe care le poate suporta construcția și elementele ei în starea limită considerată.

Valorile caracteristice folosite de multe prescripții, în principiu, sînt acele valori ale acțiunilor Q_c care, cu o probabilitate acceptată, nu vor fi

depășite în mod defavorabil pe toată durata construcției. Sînt exprimate prin relația:

$$Q_c = Q_m(1 + ks) \quad (V.16)$$

în care: Q_m reprezintă o valoare medie a acțiunilor;

s — ecartul cuadratic mediu al distribuției acțiunilor;

k — coeficient care depinde de legea de distribuție a valorilor considerate pentru acțiuni și de probabilitatea acceptată ca unele valori ale acțiunilor să fie mai mari ca Q_c .

În cazul când acțiunile minime sînt cele mai defavorabile, valoarea caracteristică se determină cu relația:

$$Q_c' = Q_m(1 - ks') \quad (V.17)$$

în care notațiile au aceeași semnificații ca cele din relația (V.16) și se referă la valorile minime ale acțiunilor; valoarea Q_c' rămîne cu probabilitatea acceptată cea mai mare dintre valorile minime ale acțiunilor.

Cînd lipsesc datele necesare, încărcările caracteristice pot fi alese în funcție de tipul și destinația construcției sau se iau *valorile normale* drept valori caracteristice.

b. Gruparea acțiunilor

O construcție și elementele ei sînt solicitate în același timp de mai multe categorii de acțiuni; diferite acțiuni care pot fi considerate simultan, formează grupări de acțiuni. La calculul construcțiilor prin metoda stărilor limită se iau în considerare următoarele grupări:

— *grupări fundamentale*, care constau în acțiuni permanente, temporare, de lungă durată și temporare de scurtă durată, care pot exista simultan;

— *grupări excepționale* care cuprind acțiuni permanente, acțiuni temporare de lungă durată, unele acțiuni temporare de scurtă durată și una din acțiunile temporare accidentale.

În cazul cînd prescripțiile referitoare la încărcări clasifică încărcările în des și rar întâlnite la valori ridicate, în cele de mai înainte, în locul acțiunilor temporare de lungă durată se consideră acțiuni des întâlnite la valori ridicate, iar în locul acțiunilor temporare de scurtă durată, acțiuni rar întâlnite la valori ridicate.

Grupările fundamentale se folosesc pentru dimensionarea elementelor construcției; grupările excepționale au scopul să servească la verificarea dacă construcția, elementele ei și îmbinările rezistă acțiunilor speciale, în general foarte rare, verificarea, puțin conduce la unele corectări față de rezultatele dimensionării pe baza grupărilor fundamentale.

Modul cum se alcătuiesc grupările de acțiuni, în general, este prevăzută în diferite norme.

În diferite grupări, acțiunile normale se iau în considerare multiplicat cu *coeficienții acțiunilor* (coeficienții ai încălzirilor); acești coeficienți sînt diferențiați pe acțiuni sau categorii de acțiuni. Acțiunile normale multiplicat cu coeficienții acțiunilor sînt *acțiuni de calcul*. La alcătuirea grupărilor de acțiuni se urmarește să se obțină combinațiile cele mai defavorabile posibile pentru construcție, pentru un element de construcție sau pentru secțiunea care se verifică. Se are de asemenea în vedere că, atunci cînd în grupare intră acțiuni de diferite categorii, riscul se reduce, deoarece probabilitatea ca toate acțiunile să producă simultan efecte cu valori maxime este mică; se ține seama de această situație, fie diminuînd coeficienții acțiunilor, fie multiplicînd unele acțiuni de calcul din grupare cu încă un alt coeficient, mai mic decît unitatea, numit *coeficient de simultaneitate* sau coeficient de grupare.

În general, în gruparea fundamentală se introduc acțiunile permanente, acțiunile temporare de lungă durată și unele acțiuni temporare de scurtă durată, care se pot manifesta simultan. Este necesar, în unele situații, să se examineze și o grupare similară în care unele acțiuni temporare ar da efecte de sens contrar celor provenite din acțiuni permanente. În gruparea fundamentală în care intră acțiuni temporare de scurtă durată sau rar înfățișate, una dintre ele, cea care produce efectele cele mai mari, se ia cu întreaga valoare de calcul, iar celelalte se reduc, în funcție de numărul lor, prin multiplicarea cu coeficienți de simultaneitate, de exemplu primele două cu 0,9 și celelalte cu 0,8. Sînt situații cînd este necesar să se facă grupări în care intră acțiuni care nu pot avea în același timp valori maxime, cum este cazul acțiunilor din vînt și zăpadă; în asemenea situații, presiunile dau pentru zăpadă valori mai reduse decît atunci cînd intră în grupare fără vînt.

c. Rezistențele caracteristice și de calcul ale materialelor

Uzinele care furnizează produsele laminate de oțel stabilesc limita de curgere aparentă σ_c sau limita de curgere convențională $\sigma_{0,2}$ pe baza unor încercări de tracțiune pe epruvete standardizate. Modul de încercare, numărul epruvetelor încercate și modul de determinare a valorilor limitei de curgere sînt precizate prin condițiile de livrare a produselor, prevăzute în standarde. Încercările se fac pe loturi de produse; în același lot sînt cuprinse produse rezultate din aceeași șarfă, de aceeași tipuri și cu dimensiuni apropiate, variînd în anumite limite. Limita de curgere determinată de uzine poate fi media aritmetică a rezultatelor obținute pe lot, valoarea minimă a acestor rezultate sau o valoare determinată conform unor prevederi speciale; normele din țara noastră prevăd să se garanteze valoarea minimă a limitei de curgere prescrisă prin standarde pentru fiecare marcă de oțel. Unele prescripții din diferite țări cer să se determine o rezistență caracteristică a materialelor, care este valoarea determinată astfel încît să prezinte o probabilitate acceptată de a nu fi atinsă. Valoarea rezistenței caracteristice se ia

$$R_c = R_m - 2s \quad (V.18)$$

în care: R_m este media aritmetică a diferitelor rezultate de încercare; s — ecartul tip.

În aceste condiții probabilitatea ca R_c să aibă o valoare superioară limitei de curgere este de 97,7%. Unele prescripții admit, în anumite situații, să se ia $R_c = \sigma_c$, dacă limita de curgere minimă σ_c este stabilită cu garanții suficiente.

Rezistența de calcul folosită în calcule este dată de relația:

$$R = R_c / \gamma_m \quad (V.19)$$

în care:

$$\gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2}$$

Coefficientul γ_{m1} , ține seama de raportul dintre rezistența materialului introdus în construcție și aceea determinată în laborator pe epruvete, iar γ_{m2} ține seama de alte reduceri probabile ale rezistenței caracteristice din defecțiuni locale și din abateri dimensionale.

În practică, pentru cele mai multe cazuri curențe, se folosește un singur coeficient γ_m . Cînd rezistența de calcul se determină pe baza limitei de curgere minime, prevăzută în condițiile de livrare ale laminelor, unele prescripții admit pentru coeficientul γ_m determinat prin analiza statistică a numerose încercări făcute pe produse livrate de uzine, valori care variază între $\gamma_m = 1,15$ pentru oțel marca OL 37 și $\gamma_m = 1,20$ pentru oțel marca OL 52; coeficientul γ_m , prin aceste valori, ține seama și de influența abaterilor dimensionale ale laminelor.

Există și situații în care valoarea rezistenței de calcul R este multiplicată cu un alt coeficient γ , care pune în evidență modul cum se comportă materialul la forfecare, presiune locală etc.; obișnuit valorile acestor rezistențe sînt evidențiate direct:

$$R_f = \gamma_f R, \quad R_p = \gamma_p R \text{ etc.}$$

d. Solicitări de calcul

Solicitările pe baza cărora se face calculul construcțiilor se obțin din acțiunile normale majorate prin multiplicarea cu *coeficienții acțiunilor* γ_a care iau în considerare posibilitatea ca acțiunile să atingă la valori mai defavorabile decît valorile normale; aceasta se poate produce datorită unor manifestări neprevăzute a acțiunilor normale sau evaluării necorecte, neglijanței unor efecte, unor erori de execuție și unor simplificări în ipotezele de calcul peste limitele uzuale etc. La determinarea solicitărilor de calcul se ține seama și de faptul că diferitele acțiuni, aplicate simultan, au o probabilitate mai redusă să atingă toate în același timp valorile lor maxime, fie direct prin coeficienții γ_a , fie folosind coeficientul de simultaneitate γ_s subunitar.

În unele prescripții coeficientul γ_a se aplică pe grupe de acțiuni, valorile coeficientului fiind diferite după felul și numărul acțiunilor care se iau în aceeași grupare; astfel, γ_a are o anumită valoare pentru acțiunile permanente și din temperatură și valori diferite pentru acțiunile provenind din exploatare, vînt sau zăpadă, după cum în grupare intră una, două sau trei din aceste acțiuni. În unele situații excepționale solicitările de calcul pot fi multiplicare cu coeficienți γ_a mai mari decît cei obișnuiți, pentru a se ține seama de unele consecințe grave, rezultînd din felul construcției, din posibilitatea rușii unor elemente fără deformații, prin imposibilitatea redistribuirii eforturilor în structură, de unele efecte neconsiderate în măsură suficientă prin calcul. De asemenea situații se poate ține seama și prin multiplicarea rezistenței de calcul cu un coeficient al condițiilor de lucru ale elementului respectiv, $m < 1$, ca de exemplu în cazurile: la grinzile plaușelor de sub săli de spectacole, magazine, cînd încălcarea permanentă este mai mare sau egală cu cea dată de alte încălcări, la zăbrelele comprimate ale fermei acoperișurilor și la pane, la elementele din corniere prînse pe o parte a guseului etc.

Valorile coeficienților acțiunilor γ_a și modul lor de aplicare sînt prevăzute în norme și pot fi diferite de la 0 față la alta. Prin alegerea unor valori diferite ale coeficienților γ_a pentru diverse categorii de acțiuni, se urmărește să se obțină un grad de siguranță cît mai omogen.

Coeficienții γ_a se aplică acțiunilor normate sau caracteristice; cînd solicitările variază proporțional cu acțiunile, coeficienții se pot aplica solicitărilor calculate din aceste acțiuni: de asemenea pot fi aplicați eforturilor unitare σ sau τ . Coeficientul γ_a nu ține seama de comportarea elementelor de construcție la unele solicitări, ca cele care duc la pierderea stabilității barelor și la pierderea stabilității locale; de aceste efecte se ține seama printr-un calcul separat de cel de rezistență. De asemenea, nu ține seama de efectele dinamice ale unor acțiuni care se iau în considerare, în general, prin aplicarea unor multiplicatori de impact.

e. Relații de calcul la stările limită

Pentru calculul la prima stare limită se obișnuiește, după cele mai multe prescripții, să se compare efortul unitar calculat pe baza solicitării de calcul, cea mai defavorabilă din diferite grupări fundamentale cu rezistența de calcul. La verificarea de rezistență se poate scrie

$$\sigma = \frac{\sum \gamma_a N_i}{S} \leq R \quad (V.20)$$

respectiv

$$\tau = \frac{\sum \gamma_a N_i}{S} \leq \gamma_f R. \quad (V.21)$$

Verificarea unei bare la stabilitate se face cu relația

$$\frac{\sum \gamma_a N_i}{\varphi S} \leq R. \quad (V.22)$$

În cazul unei acțiuni complexe efortul de comparație este σ_{calc} și deci relația de verificare este

$$\sigma_{calc} \leq mR \quad (V.23)$$

În aceste relații

γ_a este coeficientul acțiunilor, avînd valori corespunzătoare acțiunii; unele solicitări din sumă sînt multiplicare, după caz, și cu coeficientul de simultaneitate γ_s ;

N_i — solicitarea dintr-o acțiune normală, care poate fi N , M sau T , din gruparea cea mai defavorabilă;

S — caracteristica secțiunii, corespunzătoare solicitării, adică A , W etc.;

φ — coeficientul de flambaj;

R — rezistența de calcul, care în unele situații este multiplicată cu un coeficient mai mare sau mai mic decît unitatea (coeficientul m);

γ_f — coeficient de reducere a rezistenței de calcul la întindere în cazul forfecării.

m — coeficient al condițiilor de lucru egal cu 1,0 sau 1,10.

Verificarea la a doua stare limită se face punînd condiția ca deformațiile elementelor construcției să fie suficiente de mici astfel ca exploatarea construcției să nu fie împiedicată sau deranjată, ca elementele de încluzere, pereții etc. să nu fie degradată, ca repartiția eforturilor în elementele construcției să nu fie influențată neacceptabil de aceste deformații.

În general, calculul deformațiilor se face pe baza acțiunilor normate, prevăzute în proiect; în unele cazuri, cînd deformațiile intervin în calculul de stabilitate al construcției, determinarea lor se face excepțional, pe baza acțiunilor de calcul. Deformațiile longitudinale ale barelor comprimate, ținînd seama de faptul că deformațiile transversale luente în considerare la calculul flambajului, sînt neglijabile, se determină cu relațiile folosite pentru barele întinse, ținînd seama de sensul efortului.

Condiția impusă de a doua stare limită se verifică comparînd deformațiile calculate cu deformațiile limită prevăzute în diferite normative pentru elementele de construcții respective.

4. METODA REZISTENȚELOR ADMISIBILE

a. Principii de bază

Metoda rezistențelor admisibile a servit multă vreme pentru calculul construcțiilor și este și în prezent folosită în unele țări. În metoda rezistențelor admisibile eforturile unitare sînt determinate pe baza valorilor acțiunilor

normate. După normele din țara noastră acțiunile se iau în considerare în trei grupări distincte, și anume:

— *gruparea fundamentală*, notată I, care cuprinde acțiunile ce pot exista simultan din încălziri permanente, din încălziri temporare de lungă durată și o încălzire temporară de scurtă durată; în halele cu poduri rulante sau alte mijloace de ridicare și transport se iau și unele din aceste încălziri;

— *gruparea suplimentară*, notată II, care cuprinde acțiunile simultane din încălzirea permanentă, din încălzirile temporare de lungă durată și două sau mai multe acțiuni din cele temporare de scurtă durată;

— *gruparea extraordinară*, notată III, care cuprinde acțiuni care pot exista simultan în gruparea fundamentală, la care se adaugă una din acțiunile date de: cutremur, întreprinderi bruște ale procesului tehnologic, tasări accidentale ale fundațiilor, solicitări în timpul montajului, unele încălziri mari de zăpadă aglomerată.

Pentru fiecare din aceste grupări de acțiuni se determină solicitările corespunzătoare și eforturile unitare, care, pentru solicitări simple au expresia

$$\sigma = \frac{\sum N_i}{S} \quad (\text{V.24})$$

în care: N_i este solicitarea corespunzătoare unei acțiuni cu valoarea prevăzută în norme (valori normate);

S — caracteristica secțiunii, corespunzătoare solicitării.

Compararea eforturilor unitare σ sau τ calculate se face cu o rezistență determinată în raport cu limita de curgere minimă a materialului, numită rezistență admisibilă. Rezistența admisibilă este:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_c}{c} \quad (\text{V.25})$$

în care c este un coeficient de siguranță, cu valori diferite pentru cele trei grupări de acțiuni. După standarul pentru proiectarea construcțiilor metalice, valorile acestor coeficienți de siguranță pentru solicitări de întindere, compresune și încovoiere sînt:

— pentru gruparea de încălziri I, $c = 1,60$;

— pentru gruparea de încălziri II, $c = 1,40$;

— pentru gruparea de încălziri III, rezistența admisibilă se ia $\sigma_{a, III} = 1,30 \sigma_{aI}$, ceea ce duce la un coeficient de siguranță c aproximativ 1,20.

Rezistențele admisibile pentru solicitările de forfecare τ_a se determină din cele pentru solicitări normate, prin multiplicarea cu un coeficient mai mic decît unitatea și care, în general, are aceleași valori ca și în cazul metodei la stările limită.

În cazul solicitărilor complexe se determină efortul unitar σ_{ech} , care se compară cu σ_a .

În cazul flambajului se folosește, ca și în metoda la stările limită, un coeficient de flambaj φ , definit aici ca raportul dintre rezistența admisibilă la flambaj și rezistența admisibilă la compresune simplă.

Verificarea și limitarea deformațiilor construcției și elementelor ei se face pe baza acțiunilor normate, deci, în principiu, cu aceleași valori care sînt folosite la calculul de rezistență. Condițiile prevăzute în diferite norme sînt aceleași ca pentru calculul prin metoda de calcul la stările limită.

b. Relații de calcul

Metoda rezistențelor admisibile este un caz particular al metodei de calcul la stările limită. Relația (V.20), dacă se admite $\gamma_a = \text{const}$ se poate pune sub forma:

$$\sigma = \frac{\gamma_a \sum N_i}{S} \leq \gamma_m \sigma_c \quad (\text{V.26})$$

care poate fi scrisă

$$\sigma = \frac{\sum N_i}{S} = \frac{\sigma_c}{\gamma_a \gamma_m} = \frac{\sigma_c}{c} \leq \sigma_a \quad (\text{V.27})$$

Această relație este cea folosită în general în metoda rezistențelor admisibile.

Efortul unitar σ , determinat pe baza acțiunilor normate, se compară cu σ_{aI} , σ_{aII} , σ_{aIII} , după cum $\sum N_i$ rezultă din gruparea fundamentală I, din gruparea suplimentară II sau din gruparea extraordinară III.

Pentru forfecare se folosește relația

$$\tau = \frac{\sum N_i}{S} \leq \tau_a \quad (\text{V.28})$$

în care N_i sînt solicitări care produc forfecare, iar τ_a este în general

$$\tau_a = 0,6\sigma_a \quad (\text{V.29})$$

Verificarea la flambaj se face cu relația

$$\frac{\sum N_i}{\varphi S} \leq \sigma_a \quad (\text{V.30})$$

În cazul solicitărilor complexe, condiția de rezistență este

$$\sigma_{ech} \leq m\sigma_a \quad (\text{V.31})$$

în care m este un coeficient egal cu 1,0, 1,1 sau 1,2 după starea de eforturi.

Relațiile de calcul în cele două metode, metoda stărilor limită și metoda rezistențelor admisibile, au aceleași forme; relația (V.27) rezultă din relația (V.20) în care se înlocuiește solicitarea $\sum \gamma_a N_i$ cu $\sum N_i$ și rezistența de calcul R cu rezistența admisibilă σ_a .

VI. SUDAREA

I. TEHNICA SUDĂRII ȘI IMPORTANȚA EI

Sudarea constituie astăzi mijlocul principal pentru realizarea îmbinărilor construcțiilor metalice.

Dacă la început construcțiile sudate au imitat într-o măsură largă construcțiile nituite, cu timpul ele au început să-și creeze forma proprii, corespunzătoare posibilităților de realizare prin sudare și modului de comportare la diferite solicitări. Dezvoltarea metodelor de cercetare, progresele realizate de metalurgia fizică în cunoașterea proceselor ce au loc în timpul sudării, de metalașterea radicală în modul de a gândi și de a concepe o construcție sudată. S-a trecut treptat și desul de repede de la simpla construcție sudată, în care preocuparea era de a înlocui îmbinările nituite mai vechi, prin îmbinări sudate, la o tehnică proprie construcțiilor sudate. Forme conștiente noi, mai simple și mai ieftine, au început să înlocuiască formele vechi. Construcțiile sudate impun o gândire tehnică specifică sudării, adică un mod de a judeca cum trebuie procedat în fiecare caz atât din punct de vedere constructiv, cât și din punct de vedere al posibilităților de execuție pentru a se obține avantajele maxime tehnice și economice.

Posibilitățile de realizare a unei construcții prin sudură sînt variate; forma și alcătuirea elementelor constructive trebuie să fie adecvate acestui mod de realizare. Procedeele de sudare sînt ele însăși foarte diferite și fiecare din ele pune probleme de alcătuire și rezolvare constructivă diferite. Mai mult decît în orice alt sistem de realizare, în construcțiile sudate trebuie privată calitatea sudurii în raport cu solicitările la care sînt supuse în exploatare. Calitatea unei suduri depinde în mare măsură de modul de execuție; într-o măsură largă însă depinde și de modul cum proiectantul a valorificat prin soluțiile adoptate posibilitățile tehnologice de realizare a sudurii. Calitatea unei suduri depinde nu numai de pricepera sudorului, ci de un ansamblu de măsuri, din care o importanță deosebită o are modul în care a fost conceput și realizat proiectul.

O construcție sudată poate fi realizată mult mai rațional și mai economic decît o construcție nituită; pentru aceasta trebuie să fie bine cunoscute posibilitățile pe care le oferă sudura. În aceeași măsură trebuie cunoscuta defectelor și dezavantajele care pot rezulta dintr-o folosire nerațională și dintr-o execuție necorespunzătoare a sudurii. Sudura are avantaje asupra altor sisteme de îmbinare, atât prin simplitatea execuției, cât și prin modul mai direct de scurgere a fluxului de eforturi; aceste avantaje sînt reale numai dacă forma îmbinării sudate corespunde modului de solicitare și dacă execuția și calitatea sudurii sînt cele potrivite situației.

Sudarea a înlocuit aproape complet nituirea în construcțiile metalice; construcțiile realizate prin sudare sînt mult mai simple decît cele nituite, au forme mai variate, mai potrivite condițiilor de rezistență și de arhitectură.

2. PROCEDEE DE SUDARE

a. Principiile procesului de sudare

Sudarea constă în îmbinarea metalelor cu o compoziție chimică identică sau asemănătoare cu ajutorul căldurii, cu sau fără adaos de material; prin sudare atomii vecini ai pieselor care se sudează sînt aduși în zonele de atracție reciprocă, între piesele îmbinate realizîndu-se o legătură atomică.

Sudarea elementelor metalice se face prin topire sau prin presiune. *Sudarea prin topire* se execută topînd marginile pieselor care se îmbină; obișnuit se adaugă material suplimentar. Topirea se face cu ajutorul unei surse de căldură concentrată și cu temperatură înaltă; sursa cea mai folosită este arcul electric. Între piesele care se sudează, prin topirea marginilor se formează o baie de sudură, cu material topit; după solidificare rezultă cordonul de sudură, care constituie elementul de legătură, între piesele sudate.

Sudarea prin presiune se execută prin încălzirea locală a pieselor în zona de îmbinare; datorită mobilității mari a atomilor la temperatură ridicată, aceștia se pot lega întin ușor prin exercitarea unei presiuni. Presiunea mai are rolul de a îndepărta părțile din metalul topit, care conțin oxizi și alte impurități. O îmbinare sudată trebuie să corespundă unor anumite condiții de solicitare; în general se urmărește ca sudarea să realizeze o îmbinare cu calități echivalente calităților materialului care se sudează, care să asigure stabilirea unei continuități cât mai perfecte a materialului pieselor, astfel încît să se poată considera piesele sudate ca alcătuite dintr-o bucată.

b. Principalele procedee de sudare folosite la construcții metalice

Dintre numeroasele procedee de sudare, la construcțiile metalice se folosesc în special sudarea prin topire cu arc electric sau alte surse de căldură, sudarea prin presiune și eventual sudarea cu gaz, în diferite variante.

Sudarea prin topire cu arc electric. Acest procedeu de sudat este cel mai folosit; topirea metalului la locul de sudare se face prin căldura dată de un arc electric, care se formează între un electrod și piesele care se sudează; uneori între doi electrozi.

Procedul de sudare cu electrod metalic fuzibil este cel mai răspîndit; piesa și electrodul se leagă la polii unei surse de curent electric; cînd sudarea se face în mediu gazos, electrodul metalic, acoperit cu un anumit înveliș, se topște treptat și dă materialul de adaos (fig. VI.1). Învelișul electrodului are, între altele, rolul de a forma în jurul arcului electric o atmosferă protectoră. După

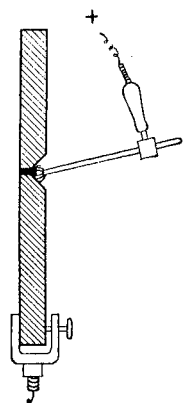


Fig. VI.1. Sudarea cu electrod metalic.

vesc atomii gazelor din câmpul arcului și deranjează electronii de pe orbitele acestora; unii electroni trec pe orbitele inferioare, degajând energie, producând o lumină violetă puternică. Ionizarea este favorizată prin vaporizarea unei părți din metal și mai ales din învelișul electrodului. Temperatura arcului este foarte mare, ajungând în coloana centrală a arcului la peste 5000°C; piesa și vârful electrodului se încălzesc la peste 2500°C și se topesc. Metalul topit trece de la vârful electrodului spre piesă, oriunde ar fi poziția de sudare și trece în baia de metal topit (fig. VI.2). Trezirea picăturilor de la electrod la piesă se produce datorită forțelor electromagnetice și forțelor de presiune a gazelor.

Pentru a mări productivitatea sau a îmbunătăți calitatea sudurii se folosesc diferite mijloace, cum sînt mărirea densității curentului, ceea ce duce la o topire mai rapidă și la o viteză mai mare de sudare, și sudarea cu arc înecat (fig. VI.3), folosind electrozi cu înveliș gros. Electrozi se reazemă cu învelișul pe piesă și arcul se dezvoltă în spațiu închis; pătrunderea sudurii este mare și lăimea mică.

Sudarea prin topire cu arc electric se poate face și sub un strat de flux, procedeu foarte răspîndit astăzi în cazul sudării automate sau semiautomate. La sudarea sub flux arcul se dezvoltă într-un spațiu închis, acoperit cu o pulbere granulată de o compoziție determinată, numită flux de sudare (fig. VI.4). Temperatura arcului vaporizează o parte din componenții fluxului și din metal; se creează un gol plin cu vaporii și zgură, la partea de jos fiind metalul topit din electrod și piesă (fig. VI.5).

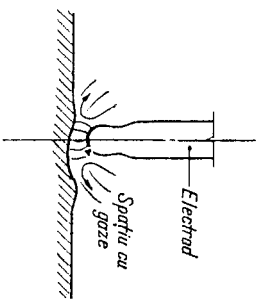


Fig. VI.2. Trezirea picăturilor de la electrod la piesă.

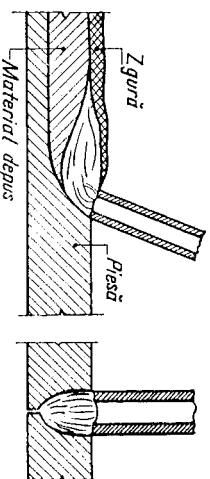


Fig. VI.3. Sudarea cu arc înecat.

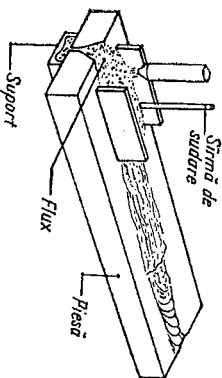


Fig. VI.4. Sudarea sub strat de flux.

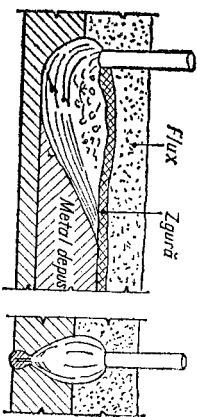


Fig. VI.5. Arcul sub strat de flux.

La sudarea automată se folosește sîrmă de sudare neînvelită; mișcările de apropiere a sîrmei și de înaintare în direcția sudării se fac automat prin dispozitivul de sudare; la sudarea semiautomată se folosește un dispozitiv portativ, rezemat pe piesă, care este mișcat de sudor, apropierea sîrmei de piesă făcîndu-se automat.

Sudarea cu arc electric cu electrozi fuzibili se execută în unele cazuri într-un mediu protejat cu anumite gaze. Protecția poate fi dată de oxidul de carbon, care rezultă din descompunerea bioxidului de carbon; din descompunere rezultă și oxigen liber, care are tendința de a oxida picăturile de metal topit; pentru a se reduce acțiunea oxidantă se folosec sîrme de sudare aliate cu Si și Mn.

În alte cazuri protecția se asigură cu un gaz inert, cum este argonul și mai rar heliul; arcul se produce între doi electrozi de wolfram nefuzibili, iar prezintă unele avantaje și se poate automatiza.

Alte procedee de sudare, care folosesc curentul electric, sînt sudarea în baie de zgură și cu jet de plasmă.

Sudarea în baie de zgură se folosește la sudarea pieselor foarte groase; în general peste 80 mm; se execută sub strat de flux. Unul sau mai mulți electrozi metalici conduc curentul electric printr-o baie de zgură și prin baia de metal topit la piesa de sudat; în aceste condiții electrozii, zgura și metalul piesei se topesc prin căldura degajată prin efectul Joule. Se folosesc fluxuri speciale.

Sudarea cu jet de plasmă se folosește în unele cazuri la sudarea oțelurilor aliate și a unor metale neferoase care au conductibilitate termică mare. Plasma este forma în care se prezintă materia la temperaturi foarte înalte; este considerată ca a patra formă de agregare a materiei; temperatura plasmei ajunge la valori foarte mari, cîteva zeci de mii de grade. Jetul de plasmă constituie un sursă de căldură foarte concentrată; se produce în arzătoare, formate dintr-un electrod de wolfram și o cameră de cupru răcită cu apă. Se folosește un curent electric continuu și în coloana arcului se suflă un curent de argon, amestecat de obicei cu alte gaze. Jetul de plasmă, format în cameră, trece la ieșire printr-un ajutoraj, care-i dă forma unei coloane foarte înguste, cu o temperatură foarte ridicată; coloana este protectată pe locul de sudare.

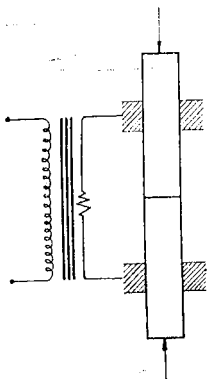


Fig. VI.6. Sudarea cap la cap.

darea prin presiune a îmbinărilor elementelor din oțel se execută încălzindu-se piesele ce se îmbină, în zona de îmbinare, la o temperatură sub cea de topire, materialul rămânând în stare solidă, după care se aplică presiunea necesară.

Sudarea prin presiune se poate executa în mai multe moduri.

Sudarea cap la cap (fig. VI.6), la care piesele se îmbină în prelungire, se face încălzind capetele pieselor prin curent electric în stare plastică, după care piesele sînt presate. Operația de sudare se face cu mașini de sudare speciale.

Sudarea prin puncte constă în crearea unor suduri în formă de mici nuclee între fețele a două table suprapuse (fig. VI.7). Realizarea sudurii se obține prin presare cu electrozi metalici a tablelor și încălzirea locală a pieselor pe fețele în contact din dreptul electrozilor.

Sudarea în linie se obține printr-o succesiune de puncte parțial suprapuse. În loc de electrozi obișnuși se folosesc role.

Un procedeu derivat este sudarea prin puncte cu pistolul, la care executarea punctelor de sudură electrică se face cu un pistol acționat pneumatic.

Sudarea prin presiune nu folosește materiale de adaos. Folosind utilaje tehnice corespunzătoare se obțin îmbinări de bună calitate. Datorită perfecționărilor din ultimii ani, sudarea prin presiune a luat o dezvoltare mare, mai ales pentru sudarea tablelor, a șinelor, a armăturilor pentru beton armat etc.

Sudarea cu gaze. Căldura necesară sudării este produsă prin arderea unui gaz: acetilenă, hidrogen, gaz metan etc., amestecat cu oxigen, folosindu-se un uflaj special, numit *sufalai* (fig. VI.8). Gazul cel mai folosit este acetilena (C_2H_2). Flacăra care se produce la vârful suflantului are o tempera-

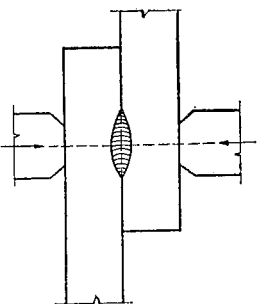


Fig. VI.7. Sudarea prin puncte.

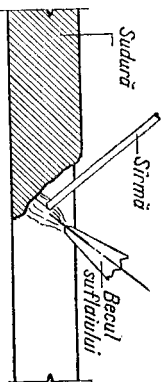


Fig. VI.8. Sudarea cu flacăra.

Sudarea prin presiune. Se execută, în diferite variante, încălzind local piesele în zona de sudare și aplicând forțe exteriore, care au rolul să aducă piesele în contact intim, astfel ca prin deformare plastică să se realizeze sudarea. Presiunea exercitată are o valoare care depinde de temperatura de încălzire a locului de sudare, fiind mai mică cînd temperatura este mai ridicată. Procedeele folosite la sudarea mai ridicată.

tură foarte ridicată 3 000 ... 3 200°C în zona care urmează imediat după nucleul luminos. Flacăra în zona exterioră este produsă prin arderea gazelor cu oxigenul din aer și are un caracter protector. Materialul de adaos se obține topind sîrmă de sudă, care se introduce cu vârful în zona de temperatură ridicată.

Protecția pe care o dă flacăra este insuficientă și în sudură pătrund din aer oxigen și azot în cantități destul de mari.

3. FORMAREA CORDONULUI DE SUDURĂ

a. Formarea cordonului

Cordonul de sudură, care la sudarea prin topire se formează în urma solidificării materialului din baia de sudură, constituie elementul de îmbinare prin sudură. Este esențial ca materialul cordonului de sudură să aibă caracteristici mecanice egale cel puțin cu ale materialului de bază, adică ale materialului din care sînt confecționate piesele care se sudază. La formarea cusăturii participă metalul de bază, care se topește sub influența arcului electric, materialul de adaos și unele elemente din materialele de protecție — învelișul electrozilor, stratul de flux; structura și compoziția chimică a cordonului de sudură vor fi influențate și de procesele care au loc în timpul trecerii cordonului prin arcu electric și în baia de sudură.

Cordonarele de sudură se pot realiza dintr-o singură trecere, cînd secțiunea lor nu este prea mare, și din mai multe treceri, după întărirea stratului depus anterior.

Datorită agitației băii, materialul în baie este foarte bine amestecat.

Cristalizarea băii de sudură începe în anumite puncte și se formează dendrite, care se înmulțesc și cresc pe măsură ce baia se răcește. Se petrece un fenomen analog cu cel care are loc la cristalizarea oțelului în lingouri; în cazul sudurii viteza de cristalizare este mult mai mare, baia avînd un volum foarte mic, iar piesele metalice din jurul băii fiind bune conductoare de căldură, ceea ce grăbește răciră. Fenomenul de segregare este foarte redus.

Dendritele vor fi cu atât mai mari cu cît materialul de bază are grăunții mai mari. O sudură cu structură cu grăunți mari, sub formă de dendrite, are calități mecanice slabe și valori de reziliență reduse. Se poate obține o structură cu grăunții mici adăugînd la sudare mici cantități de titan sau aluminiu, care contribuie la mărirea numărului centurilor de cristalizare.

b. Modificări în compoziția chimică

Compoziția chimică a materialului cordonului de sudură se poate modifica în timpul sudării prin arderea unor elemente ale metalului topit, prin amestecul cu metalul topit provenit din electrod și prin amestecul cu elemente din înveliș, flux sau din atmosfera arcului.

Pentru ca în final să se obțină o compoziție chimică dorită, se adaugă în șirma de sudură elemente de aliere sau numai în învelișul electrozilor, respectiv în flux. În practică se folosesc șirme cu anumite elemente de aliere, de fabricație curentă, completarea făcându-se cu adaosuri în înveliș sau în flux. Procesul de aliere cu elemente din flux sau învelișul electrozilor are loc în special în picăturile care se formează în vîrfii electrozilor.

c. Pătrunderi de gaze

Din atmosfera arcului electric pătrund gaze care au unele consecințe asupra calității sudurilor.

Oxigenul se combină cu fierul formînd FeO , care se dizolvă în masa topită și se adună în zonele dintre cristale, mișcînd caracteristicile mecanice ale metalului cordonului. Oxidul de carbon, care s-ar forma din FeO prin acțiunea carbonului, poate rămîne în sudură în pori formați la solidificare.

Azotul și hidrogenul se dizolvă în fierul topit și la solidificare și la transformările austenitei se degajă sub formă de gaze, care pot ieși cît timp metalul nu s-a solidificat. După solidificare elementele rămîn în soluție saturată. Azotul va forma cu fierul nitruuri, care sînt dure, se așază pe mînginea cristalelor și mișcorează călțiile plastice ale materialului sudurii.

Hidrogenul, care nu formează compuși cu fierul, se reface sub forma H_2 (molecule) cu volum mărit, dînd presiuni mari asupra pereților porilor; pot rezulta fisuri microscopice.

Baia de sudură dizolvă și ea o parte din gazele din atmosfera arcului; cea mai mare parte pătrunde însă în baie prin intermediul picăturilor, care străbat această atmosferă.

O cantitate mare de gaze dizolvate în topitură, dacă nu pot ieși pînă la solidificare, rămîn prînse în material sub formă de pori, răspîndiți în cordon sau localizați spre suprafața liberă a cordonului.

Reducerea numărului de pori în sudură se poate obține prin o serie de măsuri, care duc la înlăturarea din atmosfera arcului electric a o serie de gaze nedorite; fluxurile și învelișurile se usucă, pentru a se evita pătrunderea hidrogenului, și piesele se curăță de rugină și de grăsimi, care se găsesc în zona de sudură.

Hidrogenul mai poate intra în combinație stabilă cu fluorul, deci în învelișuri se adaugă fluorură, fluorosulfat de sodiu, în general cu oxizi de siliciu. Mișcarea conținutului de sulf duce la gaze mai puține (insolubile) de natură hidrogenului și azotului.

Oxidarea fierului se reduce dacă se folosesc adaosuri de Mn și Si. Eliminarea gazelor din metalul cordonului se face mai ușor dacă se întărește solidificarea, adică se mișcorează viteza de cristalizare. Se poate obține o viteză de cristalizare mai mică mărind energia arcului și folosind preîncălzirea.

d. Transformări structurale

Influența căldurii asupra metalului este foarte complexă; pe lângă efectele topirii și solidificării, apar altele asemănătoare tratamentelor termice, astfel că în zona sudurii se produc schimbări structurale importante.

În timpul sudării (fig. VI.9), o zonă îngustă care mîngăiește cavitatea băii este incomplet topită (1); urmează o zonă în materialul de bază, care a fost supraîncălzită și care cristalizează cu grăunți mari și poate prezenta o serie de efecte caracteristice supraîncălzirii metalului (2). Zona de material încălzită între 870 și 1400°C, numită zona de normalizare (3), are structura oțelului normalizat, cu grăunți fini și cu proprietăți mecanice bune; în afara acestei zone, materialul suferă transformări de recristalizare, grăunții sînt mari și proprietățile mecanice mai slabe (4). Pe o zonă destul de îngustă, materialul prezintă transformări foarte variate și proprietăți diferite. Zona supraîncălzită este îngustă la sudarea cu arc electric și mai lată, la sudarea cu gaze; celelalte zone au lățimi mici. În total, zona influențată termic variază în general la sudarea electrică între 2 și 6 mm, iar la sudarea cu gaze ajunge la 20—30 mm. Zona influențată termic este mică la sudarea cu electrozi înveliși și la sudarea sub strat de flux. Mărimea acestor zone și structura lor depind foarte mult de cantitatea de căldură introdusă în materialul de bază în unitatea de timp, de viteza de răcire și de forma piesei. Zona influențată termic rămîne mai mult timp sub influența căldurii și apoi răcirii se face repede. Încălzirea un timp mai îndelungat duce la mărirea cristalelor de austenită; în cazul unei subrăcirii mari, nu toate cristalele de austenită se transformă în perlită; apar transformări de natură martenitică, sorbitică etc. Materialul are în acest caz o duritate mare și proprietăți mecanice slabe.

La oțeluri slab aliate aceste transformări sînt și mai pronunțate.

Pentru a se evita formarea martenitei este necesar ca viteza de răcire să fie astfel încît transformările să se termine la temperaturi peste punctul critic de transformare a martenitei.

Sudurile executate în straturi au o structură cu grăunți mai fini, deoarece părțile depuse anterior suferă la sudarea straturilor următoare unele influențe termice favorabile, asemănătoare tratamentului de normalizare.

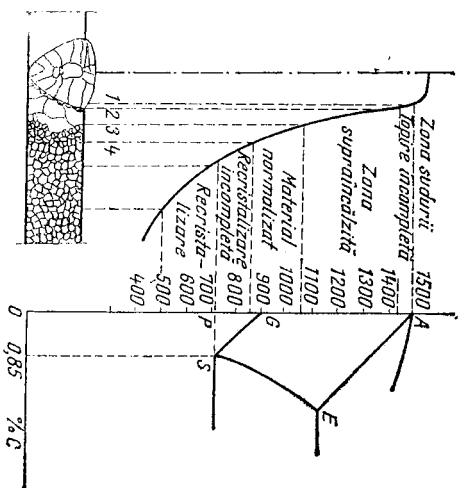


Fig. VI.9. Structura sudurii și a zonelor vecine.

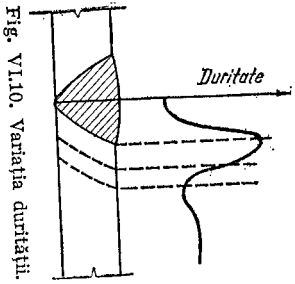


Fig. VI.10. Variatia durității.

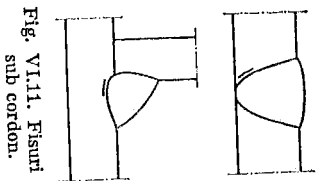


Fig. VI.11. Fisuri sub cordoan.

În cazul unor suduri cu secțiune mare, durata încălzirii este mare și ca urmare granulația structurii este mai grosolană; dacă însă se sudază în mai multe straturi, se obțin unele avantaje. La aplicarea straturilor următoare piesa este caldă, ceea ce echivalează cu o preîncălzire a piesei înainte de sudare. Se obține o structură mai bună și cu diferențe de duritate mai mici.

Odată cu structura se modifică și proprietățile plastice ale materialului; în zona de trecere de la materialul de bază neinfluențat termic se observă o tendință accentuată spre fragilizare. Această scădere a plasticității poate fi pusă în evidență prin cercetarea variației durității materialului (fig. VI.10); este cauza rupeiilor ce se produc în zona de trecere. În cordoanele de sudură și în zona imediat vecină lor apar deseori fisuri; acestea se formează la cald, în apropierea temperaturii de solidificare și la rece, sub $+400^{\circ}\text{C}$. Apariția fisurilor la cald este favorizată de unele elemente ca: S, P, C, N; fisurile la rece sînt provocate de structura fragilă a zonei sudurii, de eforturi remanente, de prezența hidrogenului în metalul cordoanelui, de modul și viteza de solicitare și altele. Fisurile sînt defecte grave și periculoase, fiind una din cauzele rupeiilor fragile ale construcțiilor sudate; sînt frecvente fisurile care apar spre rădăcina sudurii, așa-zisele fisuri sub cordoan, așezate în zona de topire (fig. VI.11). Cauzele apariției acestor fisuri la rece sînt variate; se atribuie hidrogenului un rol principal în producerea lor.

4. DEFORMAȚII ȘI EFORTURI PROPRII DIN SUDARE

a. Deformațiile produse la sudare

Ciclu termic, datorită încălzirii și răcirii, are ca efect modificarea poziției și a formei pieselor și apariția unei stări de eforturi proprii sudării. Aceste efecte nu pot fi evitate; prin unele măsuri constructive și tehnologice pot fi însă limitate la valori admisibile.

Materialul topit prin sudare, în urma solidificării, își reduce volumul; materialul piesei, încălzit, se dilată, iar la răcire se contractă, producînd modificări în formă și poziția pieselor care se sudază. În anumite condiții aceste modificări se păstrează sau conduc la stări de eforturi remanente; în general ambele efecte sînt simultane. Prin măsuri se poate opera asupra deformării sau asupra stării de eforturi, după necesitate. Oprirea deformațiilor produce o stare de eforturi mai accentuată și invers.

Dacă se încălzește o piesă fixată la un capăt și liberă la altul, aceasta se dilată și la răcire revine la dimensiunea inițială (fig. VI.12, a); în cazul cînd diatarea piesei este împiedicată, se vor produce în material deformări datorită eforturilor unitare care se dezvoltă în sistem. Acestea pot fi elastice și după răcire piesa rămîne cu lungimea inițială; dacă însă eforturile unitare care se dezvoltă sînt mai mari decît limita de curgere corespunzătoare temperaturii la care este încălzit materialul, sub influența acestor eforturi, materialul se va deforma plastic, se va îndesa și la răcire se va contracta după legile fizicii. Piesa se va scurta (fig. VI.12, b). O piesă fixată la ambele capete, legite fizicii. Piesa se va scurta (fig. VI.12, b). O piesă fixată la ambele capete, deformată plastic în timpul încălzirii, nu se va putea scurta la răcire și vor apărea eforturi de întindere (fig. VI.12, c). La o piesă încălzită uniform pe una din margini, marginea încălzită se dilată; zonele vecine, mai puțin calde, care nu pot urma aceleași alungiri, frînează deformațiile părții mai calde. Apar eforturi unitare de compresime în zonele încălzite și de întindere în zonele vecine, mai puțin calde; piesa se curbează (fig. VI.13). La răcire, dacă eforturile unitare care s-au dezvoltat la încălzire nu au atins limita de curgere, piesa revine la forma inițială. În cazul cînd încălzirea a dus la eforturi care au atins limita de curgere, materialul din zona comprimată, deformată plastic, nu se mai poate contracta liber la răcire, fiind reținut la zonele vecine deformatate elastic. În piesă apar din această cauză eforturi unitare de întindere în zonele care au fost deformatate plastic; piesa se va curba în sens invers decît la încălzire.

Fenomene asemănătoare se produc și în cazul sudării, dar într-o formă mult mai complexă. Temperatura fiind foarte ridicată, apar deformații plastice și deci deformații remanente în sens longitudinal și transversal; deformațiile în sensul grosimii piesei sînt în general mici; și devin mai importante numai la piesele groase.

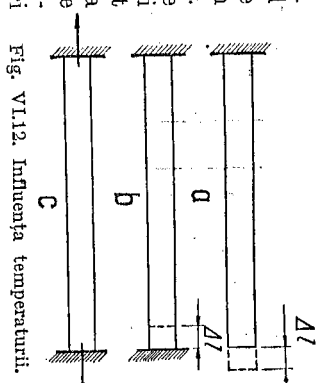


Fig. VI.12. Influența temperaturii.

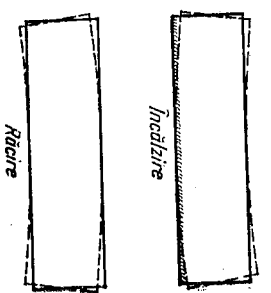


Fig. VI.13. Deformația unei piese încălzite pe margine.

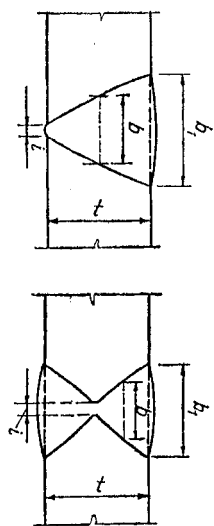


Fig. VI.14. Contraction transversală.

Deformația transversală este produsă în cea mai mare parte de contracția metalului deșus (fig. VI. 14).

La sudurile în adâncime contracțiile depind în primul rînd de volumul metalului deșus, deci de secțiunea transversală a sudurii; mărșorul trecerilor influențează valoarea

contracției transversale într-o măsură oarecare, deoarece straturile deșuse anterior împiedică oarecum contracțiile straturilor ulterioare. Practic se constată o influență mică. Intensitatea curentului și viteza de sudare, prin faptul că modifică cîmpul termic, influențează asupra zonelor încălzite puternic. Pentru o aceeași cantitate de material deșus, contracția este ceva mai mică la piesele groase decît la cele subțiri. Lungimea sudurii intervine în modul de dezvoltare al contracției transversale; contracția transversală crește odată cu lungimea cordonului de sudură.

Forma secțiunii are o influență sensibilă; sudurile în V dau contracții mai mari decît cele în X.

Valoarea contracției totale după sudare depinde de mulți factori și determinarea ei printr-un calcul bazat pe considerații teoretice este greu de făcut; numeroase experiențe de laborator arată că se poate determina valoarea contracției transversale A_s cu relația

$$A_s = k \frac{A_s}{l} = kb \quad (\text{VI. 1})$$

în care: A_s este aria secțiunii sudurii;

k — un coeficient care variază între 0,20 și 0,28;

$b = \frac{b_1 + i}{2}$ — grosimea medie a cordonului.

Contrația unei suduri în V este diferită la cele două fețe; este de așteptat ca, în urma contracției mai mari la fața deschisă, să se producă și o deformare unghiulară φ (fig. VI. 15). Asupra deformăției unghiulare are o influență mare forma secțiunii sudurii; la sudurile în X deformăția unghiulară este mult mai mică decît la sudurile în V.

Valoarea unghiului φ la sudurile în V se poate lua după relația

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,20 \frac{b_1 + i}{l} \quad (\text{VI. 2})$$

La sudurile în relief materialul deșus în unghiul format de piese are tendința să se contracte în toate direcțiile (fig. VI. 16, a). Contractionile după direcțiile ab și ac sînt împiedicate într-o măsură oarecare de piesele 1 și 2; contracția după direcția bc este cea mai importantă, deoarece poate modifica unghiul pieselor. La sudurile în K retragera este împiedicată într-o

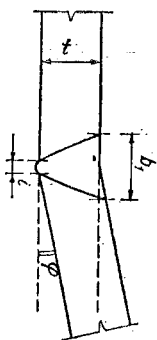


Fig. VI.15. Contraction unghiulară.

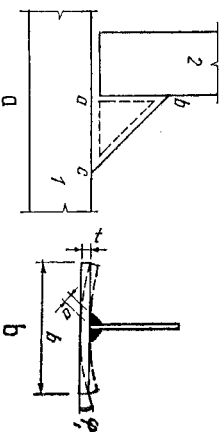


Fig. VI.16. Deformația sudurii în relief.

măsură mai mare de piesele care se sudează și poate duce la fisurarea sudurilor.

Valoarea contracției transversale cordonului de sudură în relief depinde în mare măsură de raportul a/l , fiind cu atît mai redusă cu cît acest raport este mai mic.

Ca urmare a contracției transversale a sudurilor în relief, piesele se îndoaie; deformația unghiulară se poate lua pentru cazul din fig. VI.16, b

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{a}{15 l} \quad (\text{VI. 3})$$

Contrațiile în lungul cordonului de sudură sînt în general mai mici decît cele transversale, fiind reținute într-o măsură oarecare de zonele vecine sudurii; cu cît raportul dintre secțiunea piesei și secțiunea sudurii este mai mare cu atît deformația longitudinală unitară este mai redusă. Pe de altă parte, cu cît lungimea cordonului de sudură este mai mare cu atît tendința de scurtare a cordonului de sudură se va manifesta mai puternic.

În cazul sudării unei piese cu secțiune nesimetrică, datorită contracției cordonului de sudură se produce o încovoiere a piesei (fig. VI.17). Săgeata remanentă pe care o capătă piesa în urma acestei deformații este proporțională cu grosimea sudurii a și cu lungimea cordonului de sudură l și invers proporțională cu momentul de inerție I_x al secțiunii întregi.

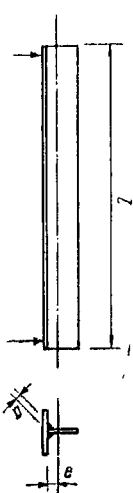


Fig. VI.17. Incovoiere datorită sudurii.

b. Eforturi rezultate din sudare

Încălzirea și răciră pieselor în procesul de sudare, când deformațiile nu se pot dezvolta liber în totalitatea lor, produc o stare de eforturi. Între deformații și eforturi există o strânsă legătură; cu cât sînt împiedicate mai mult deformațiile, cu atât eforturile sînt mai mari. Este de făcut deosebirea între eforturile produse de solidificarea metalului topit, ca urmare a contracției datorită solidificării, și eforturile care se dezvoltă în urma împiedicării producerii deformațiilor din cauze diferite și care se pot numi *eforturi de contracție forțată*.

Eforturile care se dezvoltă în timpul sudurii pot fi trecătoare sau remanente, acestea rămînd și după răciră piesei. Pe de altă parte, ca și deformațiile, eforturile sînt longitudinale cordonului de sudură și transversale. După modul de repartizare, eforturile pot fi liniare, plane sau spațiale.

Cauza dezvoltării eforturilor o constituie repartizarea căldurii în mod neuniform în piesă și rigiditatea pieselor care se îmbină prin sudură, care împiedică producerea liberă a deformațiilor.

În general, cînd în piesă apar eforturi unitare sub limita de curgere, acestea sînt temporare și dispar la răcire. Trebuie fîntu seama însă că la temperaturi mai ridicate limita de curgere coboară. Eforturile remanente apar cînd în piesă, la încălzire, s-au produs eforturi unitare care au atins limita de curgere și deci au avut loc deformații plastice.

La o placă, în urma sudării unui cordon de sudură în adîncime, se vor produce eforturi remanente, atît în lungul cordonului de sudură, cît și transversal. Mărima și distribuția lor depînd de dimensiunile plăcii. În lungul cordonului de sudură, după răcire, au naștere eforturi de întindere, a căror valoare este egală cu zero la capetele cordonului de sudură și maxime în zona centrală a cordonului. În zonele vecine, puternic încălzite prin sudare, se dezvoltă de asemenea eforturi de întindere; în zonele vecine mai puțin încălzite sau neîncălzite, eforturile sînt de compresie.

În același timp apar și eforturi transversale cordonului de sudură. Aceste eforturi, perpendiculare pe direcția cordonului de sudură, sînt eforturile de întindere în zona centrală a cordonului și de compresie spre capete; valorile acestor eforturi scad cu distanța de la axa cordonului.

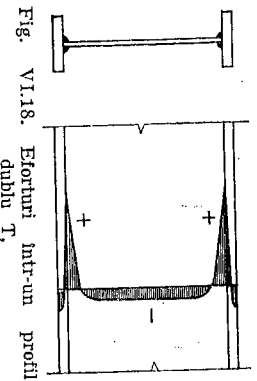


Fig. VI.18. Eforturi într-un profil dublu T.

La sudarea unui profil dublu T eforturile care se produc după răcire au distribuția din fig. IV.18, valorile foarte mari rezultînd chiar în sudurile de legătură. Mecanismul producerii eforturilor de contracție este însă mai complicat. La sudarea în adîncime într-o singură trecere a unui cordon mai lung, porțiunea de

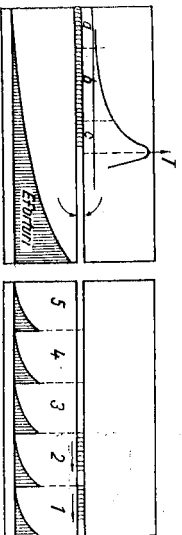


Fig. VI.19. Mecanismul producerii eforturilor.

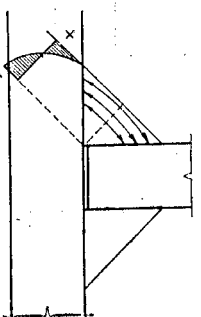


Fig. VI.20. Eforturi transversale la o sudură în relief.

sudură notată cu *a* (fig. IV. 19) a căpătăt contractie din răcire și o contracție produsă de răsucirea pieselor dilatate în urma încălzirii în contracție a cordonului; în zona *b* contractiile sînt în desfășurare. Porțiunea *c* a cordonului este încă la temperatură înaltă. Pe măsură ce se produce deplasarea punctului de sudare, noi porțiuni din cordonul de sudură se răcesc, se dezvoltă compresioni în sudurile fierbinți, încă în stare plastică și ca urmare se produce o apropiere a marginilor pieselor nesudate încă. Cînd s-a sudat și s-a răcit o porțiune suficientă, porțiunile în curs de răcire mai noi nu mai pot apropia marginile pieselor cu ușurință și în sudurile răcite se dezvoltă eforturi de întindere transversale, care se măresc în măsura în care înaintează cordonul de sudură. Este de presupus că diagrama acestor eforturi are forma din fig. VI.19. Dacă însă în loc să se sudeze într-un singur sens, se sudează cu întreruperi și în sens invers sensului de înaintare a cordonului general, fenomenul se produce liber pe porțiunea *1*; pe porțiunile următoare *2*, *3*... apropierea marginilor este împiedicată de părțile sudate mai înainte. Se vor produce și aici vîrfuri de eforturi spre sfîrșitul cordonului de sudură, dar mai mici și repartizate pe lungimea cordonului din porțiunea respectivă.

În cazul sudurilor în relief se produce eforturi mari de întindere transversal suprafeței sudurii (fig. VI. 20), care pot duce la fisurarea sudurilor, dacă materialul deșus de electrozi nu are o suficientă rezistență contra fisurării la cald.

c. Mijloace pentru reducerea deformațiilor și a eforturilor

Contractiile după sudare sînt o consecință a modului de repartizare a temperaturii în ansamblul piesei și nu pot fi evitate; ele sînt în mod natural însoțite de eforturi remanente. Eforturile remanente sînt cu atît mai mari cu cît au fost împiedicate mai puternic deformațiile datorite contracțiilor. Tînd seama de acestea, două principii generale trebuie avute în vedere înă de la proiectarea construcției și detașarea elementelor ei.

Astfel, este posibil:

- să se reducă deformațiile prin echilibrarea efectelor contracțiilor și
- să se reducă eforturile remanente prin acceptarea deformațiilor libere.

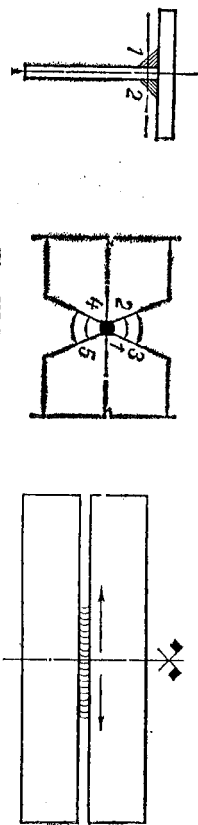


Fig. VI.21. Echilibrarea efectelor.

În primul caz se pot obține piese cu deformații reduse și cu eforturi remanente relativ mici; în al doilea caz, deformațiile sînt libere, ceea ce conduce evident la eforturi remanente mai reduse, dar cu deformații care pot atinge valori mari.

Pentru echilibrarea deformațiilor ce se produc în timpul sudării și după sudare sînt multe posibilități. În principiu, deformația pe care o produce un cordon de sudură trebuie echilibrată prin deformațiile unuia sau mai multor cordoane de sudură, astfel dispuse încît efectul lor să fie contrar celui produs de primul cordon. Se obțin avantaje la sudarea unor piese, atunci cînd orice sudură prevăzută a se executa are o altă sudură dispusă simetric în raport cu planul de simetrie al îmbinării sau al piesei; această simetrie trebuie să se păstreze cît mai mult și în momentul executării cordoanelor respective.

În fig. VI.24 sînt arătate cazuri. Avantajele sînt mai mari cînd cordoanele simetrice se pot executa simultan; dacă o astfel de execuție nu este posibilă, execuția se va face în mod cît mai echilibrat, sudîndu-se pe porțiuni sau ținînd seama de faptul că sudurile executate au mărît rigiditatea piesei și că pentru echilibrare este nevoie de o cantitate de sudură determinată.

În cazul pieselor îmbinate cap la cap prin suduri în adîncime, dau rezultate bune, dacă sînt aplicate în mod corespunzător, următoarele măsuri:

- adoptarea unei secțiuni de sudură minimă, deoarece deformațiile sînt proporționale cu secțiunea transversală a sudurii;
- folosirea unor secțiuni de sudură simetrice în raport cu axa lor; execuția se va urmări să se facă cît mai simetric, concomitent dinspre cele două fețe sau, la sudurile executate în mai multe straturi, prin întoarcerea pieselor după depunerea unor straturi suficient pe o parte și apoi pe alta;
- sudarea în pași sau în salturi (fig. VI.22); cordoanul de sudură este divizat în lungimi de 200—300 mm; la sudarea în pași, sudarea se execută

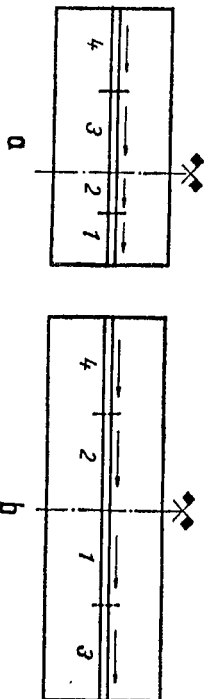


Fig. VI.22. Sudarea în pași și în salturi.

în ordinea și în sensul din fig. VI.22, a, iar la sudarea în straturi ca în fig. VI.22, b; cînd sudurile se execută în mai multe straturi, acestea se decalază și se sudează în sens invers straturilor anterioare;

- folosirea unei vizeze de sudare mari;
- evitarea curbării pieselor, ca urmare a efectului de contracție longitudinală, prin așezarea cordoanelor de sudură cît mai aproape de axa neutră sau simetric față de această axă; executarea acestor cordoane de sudură trebuie făcută echilibrat și într-o ordine bine aleasă;

— folosirea în măsură necesară a unor fixări, care să împiedice rotirea sau răsucirea elementelor ce compun piesa care se assemblează, fără însă a împiedica deplasarea lor în direcție longitudinală sau în alte direcții, dacă aceasta ar duce la eforturi remanente mari.

Mentînerea libertății de deformare a pieselor care se sudează este de preferat ori de cîte ori deformațiile rezultate nu constituie un inconvenient. În orice caz, împiedicarea forțată a deformațiilor poate fi folosită numai în măsura în care nu duce la eforturi remanente neacceptabile.

Este dezavantajos să se sudeze un element de construcție, compus din mai multe părți, într-o ordine care ar face ca părțile sudate mai înainte să împiedice într-o măsură mare contracțiile și deformațiile provocate de sudurile următoare. În fig. VI. 23 este arătat un exemplu de ordine greșită. Este mai bine să se sudeze într-o ordine echilibrat tălpile de inimă și apoi rigidizările, care se pot prinde cu suduri mici, ale căror efecte sînt mai reduse pentru ansamblul piesei.

Sudarea rigidizărilor, înainte de sudarea tălpilor, va duce la dezvoltarea unor eforturi remanente de întindere transversale inimii, mari în zonele dintre rigidizări, care împreună cu eforturile remanente longitudinale și cu cele din acțiunile exterioare, vor crea o stare de eforturi plană periculoasă.

La sudarea în adîncime a unor piese groase se va evita sudarea cu treceri late, preferîndu-se treceri înguste, legate între ele la mijloc, după ce s-au răcit suficient straturile laterale (fig. VI.24).

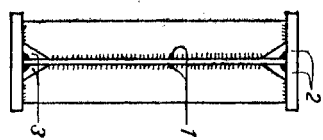


Fig. VI.23. Ordine de sudare greșită.

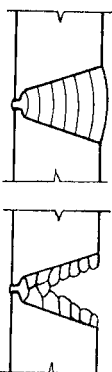


Fig. VI.24. Sudarea pieselor groase.

La sudarea unei îmbinări de montaj la o grindă dublu T, apare mai avantajoasă sudarea mai întîi a tălpilor și apoi a inimii (fig. VI. 25), deoarece în acest caz, în zona inimii vor apărea eforturi de întindere.

Posibilitățile de reducere a deformațiilor și eforturilor sînt numeroase, aplicarea lor dînd rezultate în funcție și de condițiile în care sudurile se găsesc.

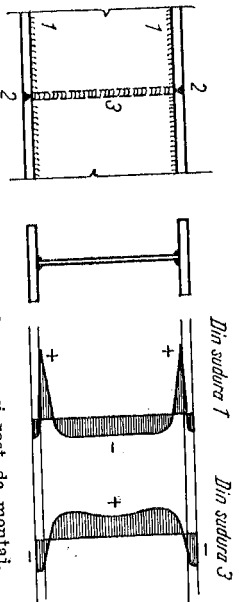


Fig. VI.25. Eforturi din sudarea unui rost de montaj.

Într-un ansamblu. În unele cazuri se poate aplica cu succes sudarea cu preîncălzire sau sudarea după deformarea prealabilă a pieselor în sens invers deformăției care va rezulta după sudare etc.

Pentru obținerea unor piese cu deformății și eforturi admisibile trebuie în primul rând ca la proiectare

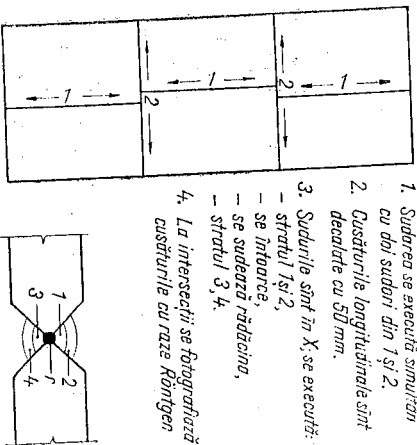


Fig. VI.26. Plan de sudare.

1. Sudarea se execută simetric cu doi sudori din 1 și 2.
2. Cusăturile longitudinale sînt decalate cu 50 mm.
3. Sudurile sînt în X, se execută:
 - se întorcea,
 - se sudază rădăcina,
 - stratul 3, 4.
4. La intersecții se fotografiază cusăturile cu raze Röntgen

necesar pentru a se putea executa o piesă în condiții bune; proiectantul trebuie să cunoască și să aleagă metoda de execuție cea mai potrivită, adoptînd soluții constructive corespunzătoare.

În cazuri mai complicate sau atunci cînd trebuie să se execute o piesă cu deformății limitate, este necesar să se întocmească un plan de sudare; acesta cuprinde toate indicațiile privitoare la prelucrarea marginilor, la ordinea și la succesiunea de sudare, la controlul calității etc. În fig. VI.26 este arătat un exemplu pentru sudarea inimilor unei grinzii cu inimă pînă.

5. MATERIALE PENTRU SUDARE

a. Electrozi și învelișuri

La sudarea metalelor se folosesc electrozi de diferite tipuri, nefuzibili sau fuzibili.

Electrozii nefuzibili sînt:

— electrozi de cărbune, care se folosesc la sudarea tablilor subțiri de oțel și în care se adaugă sau nu materialul prin topirea unei șirme în arcu electric; se mai folosesc la sudarea cuprului;

— electrozi de wolfram utilizați la sudarea în mediu de gaz protector, cu sau fără material de adaos.

Electrozii fuzibili sînt larg folosiți la sudarea cu arc electric, servind în același timp și pentru furnizarea materialului de adaos, care contribuie la formarea cordonului de sudură.

Sînt alecătuiți din șirne, avînd sau nu un înveliș format din materiale diferite.

Electrozii neînveliși se folosesc la sudarea cu flacără oxiacetilenică sau la sudarea în mediu de gaz protector; se folosesc electrozi neînveliși care au uneori un miez nemetalic.

La sudarea electrică automată sub flux se întrebunțează șirne neînvelite sub formă de colaci.

Pentru fabricarea electrozilor se folosesc șirne din oțel moale sau cu unele elemente de aliere. Șirnele din oțel moale, folosite pe scară largă la oțelurile de construcții, au un conținut redus de carbon și adaosuri de Mn, Si și Al, care împiedică oxidarea carbonului; pentru oțeluri aliate se folosesc șirne din oțel aliat.

Materialul deșus de electrozi la sudare trebuie să aibă o compoziție chimică și caracteristici mecanice anumite. Se poate obține acest lucru, folosind o șirmă de oțel cu o compoziție chimică prescrisă, învelișul electrozilor sau fluxul avînd rolul de a proteja metalul topit contra pătrunderilor din atmosferă a unor elemente nedorite; un alt procedeu este de a se sudă cu șirmă din oțel moale, fără elemente de aliere, elementele necesare obținerii compoziției chimice dorite adăugîndu-se în înveliș sau flux. Alierea se face în arcu electric. Acest procedeu este cel mai răspîndit, deși pierderile la trecerea elementelor de aliere în metalul topit sînt mai mari, deoarece permite să se folosească o gamă mai redusă de calități de șirmă. În practică se întîlnesc des soluții intermediare.

Electrozii pentru sudarea manuală au dimensiuni variate; diametrele utilizate sînt: 2; 2,5; 3,25; 4,00; 5,00 și 6,00 mm, iar lungimile de 300 și 450 mm; la electrozii subțiri, pînă la 3,25 mm, lungimea este de 300 mm.

În ceea ce privește compoziția chimică a șirmelor, acestea cînd nu sînt aliate au C sub 0,44%, Mn pînă la 0,60% și Si 0,03%, iar cînd sînt aliate au Mn pînă la 1,60% și Si pînă la 1,40%; conțin și ceva Cr (0,10—0,20%); fosforul și sulfurile sînt în general sub 0,03%.

Învelișurile electrozilor se fabrică din substanțe al căror rol este: — ionizant, pentru a asigura menținerea arcului electric (carbonat de calciu, de potasiu, oxizi, săruri alcaline);

— deoxidant (feromangan, ferossiliciu, ferotitan, aluminiu);

— de a forma zgură (cuart, feldspat, caolină, dolomită);

— de aliere, pentru a completa sau adăuga elementele necesare (feroaliaje, oxizi metalici);

— de a forma gaze pentru a proteja arcu electric și baia metalică (materii organice).

Electrozii fuzibili sînt cu sîrmă plină și cu inimă; electrozii cu inimă au într-un canal longitudinal interior feroaliaje pentru aliere și eventual materiale pentru stabilirea arcului. Învelișul electrozilor fuzibili se aplică prin presare, mai rar azi prin imersione. Aria secțiunii învelișului este obișnuit între 0 și 40% din aria secțiunii sîrmei.

Învelișul trebuie să fie centric pe sîrmă, să adere bine de sîrmă și să aibă suprafața netedă; topirea învelișului trebuie să fie cît mai uniformă și să formeze o zgură ușoară, puțin viscoasă, pentru a se separa ușor din baia metalică; va acoperi bine și uniform cordonul solidificat, iar la sfîrșit se va desprinde ușor prin ciocănire. Învelișul mai are rolul să asigure stabilizarea arcului electric și să ajute la dezoxidarea băii metalice pentru înlăturarea elementelor nedorite.

După natura învelișului electrozii se pot clasifica în:

— *electrozi cu înveliș oxidant*, care asigură un arc stabil, dar nu asigură protecția contra elementelor din aer; se folosesc la lucrări de mică importanță. Aspectul sudurii este neted și luctos;

— *electrozi cu înveliș acid*, care dau cusături uniforme, arcu fiind stabil; dau picături mici și calitățile mecanice sînt bune; se fabrică mărcile EL38A și EL42A; se folosesc la sudarea oțelurilor cu mai puțin de 0,25% C;

— *electrozi cu înveliș titanic*, dau o zgură ceva mai viscoasă și acidă; se folosesc la sudare de poziție; sudurile sînt sensibile la fisurare; proprietățile mecanice sînt bune; dintre mărcile care se fabrică în țară se menționează: EL38T, EL44T, EL48T-favorit, EL48T-extra și supertit;

— *electrozi cu înveliș bazic*, care dau arc mai stabil în curent continuu; formarea cusăturii este dificilă și picăturile sînt mari; învelișul electrozilor este foarte higroscopic; înainte de folosire sînt ușați la o temperatură de circa +300°C, timp de 3 ore și apoi păstrați în cutii închise; cu electrozi cu înveliș bazic se obțin suduri cu caracteristici mecanice și cu rezistențe foarte bune; au o rezistență bună la fisurare; se folosesc la construcții foarte solicitate din oțeluri cu pînă la 0,50% C și din oțeluri slab aliate; se fabrică mărcile EL42B, EL50B, 47B Naval, E52-superbaz și EL52 unibaz;

— *electrozi cu înveliș celulozic*, care conțin în mare măsură substanțe organice; în cusătură intră mult hidrogen; se fabrică EL44C.

În afară de acești electrozi se mai fabrică și alte tipuri ca: electrozi cu pătrundere adîncă, cu înveliș cu pulbere de fier, electrozi pentru sudare sub apă etc.

La *electrozii cu pătrundere adîncă* învelișul se topește ceva mai greu se formează un crater interior și se sudează cu curenți de intensitate mare; *electrozii pentru sudare sub apă* au învelișul protejat contra umezrii, prin aoperiri cu lacuri.

Un alt tip îl formează *electrozii oriare*, care sînt înveliși, iar la interior au un canal prin care se suflă oxigen; servesc la tăierea oxielectrică a metalelor.

b. Fluxuri

Fluxurile pentru sudarea automată și semiautomată cu arc electric, după modul de fabricare, sînt fluxuri topite și fluxuri ceramice.

Fluxurile topite sînt alcătuite din diferite substanțe topite împreună la temperaturi în jur de 1500°C și apoi măcinate la mărimea dorită a granulelor; în aceste fluxuri nu se pot introduce feroaliaje pentru aliere, deoarece acestea, la topire, formează cu oxizi combinații care nu se pot folosi pentru aliere.

Fluxurile ceramice se fabrică din substanțe care, mai întîi au fost măcinate fin, și apoi sînt legate cu un liant; formează o pastă consistentă, care apoi este granulată. Permite introducerea feroaliajelor. Granulele se usucă la 300...400°C.

Fluxurile pot fi acide sau baze.

În timpul sudării fluxurile izolează spațiul în care se găsește arcu electric de arcu înconjurător și contribuie la stabilizarea arcului electric; după sudare, zgura formată acoperă cordonul de sudură.

În același timp fluxul are și o acțiune chimică: reduce elementele dăunătoare (sulf, fosfor), dezoxidează și ajută la alierea metalului din cusătură etc.

6. TĂIEREA METALELOR

Operațiile de tăiere sînt folosite pe scară largă la realizarea construcțiilor metalice. Dintre mijloacele folosite tăierea cu gaze este cea mai răspîndită.

Tăierea cu flacăra oxigaz se bazează pe proprietatea pe care o are fierul de a arde în oxigen cu viteză mare, dacă este încălzit în prealabil la o temperatură ridicată. Încălzirea se face cu flacăra produsă prin arderea unui amestec de gaz combustibil și oxigen, iar tăierea se face cu un curent de oxigen.

Pentru ca un metal să poată fi tăiat cu flacăra oxigaz sînt necesare următoarele condiții:

— temperatura de ardere a metalului în oxigen să fie mai mică decît temperatura de topire, adică metalul trebuie să ardă în stare nehotopită;

— oxidul care se formează în urma arderii trebuie să se topească mai ușor decît metalul și să fie fluid pentru a putea fi suflat de jetul de oxigen;

— conductibilitatea termică a metalului nu trebuie să fie prea mare, pentru ca locul unde se face tăierea să nu se răcească repede.

Aceste condiții le îndeplinesc oțelurile; oțelurile cu foarte mult carbon (peste 0,90...1,00%) se taie mai greu. Fonta, avînd mult carbon, nu se poate tăia cu flacăra oxigaz datorită și faptului că temperatura de ardere este mai ridicată decît temperatura de topire.

Nu se poate tăia cu flacăra oxigaz nici aluminul și aliajele lui, deoarece temperatura de topire a oxidului de aluminiu este mult mai ridicată decît a aluminului.

Dintre elementele componente ale oțelului carbon și aliat, unele îngreunază sau fac imposibilă tăierea; astfel nu se pot tăia oțelurile cu mult Si, Cr, Ni.

Oxigenul folosit la tăiere trebuie să fie foarte curat (puritate peste 99%); reducerea purității îngreunază tăierea și face ca tăieturile să nu fie curate. Gazele utilizate pot fi de diferite proveniențe, cu condiția ca în amestec cu oxigenul să asigure temperatura necesară topirii metalelor. Dintre diferitele gaze combustibile, acetilena este cea mai folosită.

Utilajul întrebunțat pentru tăiere, la tăierea manuală, este ca și cel folosit la sudare, cu deosebirea că are în plus o țeavă care conduce oxigenul la locul de tăiere; în consecință, suflaia are sistemul de ardere a amestecului de gaze și oxigen pentru încălzirea piesei și separat pe cel pentru admisia oxigenului necesar tăierii. De obicei este prevăzută cu două roțițe, care ușurează mișcarea și conducerea lui.

Tehnologia de tăiere este destul de simplă. Piesele care se taie se curăță de rugină, vopsea și alte impurități, care îngreunază tăierea. Tăierea începe după ce piesa a fost încălzită local până la incandescență; când s-a ajuns la o încălzire satisfăcătoare pe toată grosimea piesei se dă drumul jetului de oxigen. În unele situații în locul de pornire se dă mai întâi o gaură cu burghinul; după ce jetul de oxigen a străbătut toată pesa, aparatul de tăiere se mișcă în direcția de tăiere cu o viteză convenabilă și constantă.

La tăierea manuală marginile tăieturii sînt oarecum neregulate; lățimea tăieturii este destul de mare, circa $0,02 t + 2$ mm, t fiind grosimea piesei; la partea opusă tăietura este ceva mai largă. Pentru aceste motive, în unele cazuri este necesar ca marginile tăieturii să fie curățate și îndreptate prin prelucrare.

Pentru tăierea tabelor de oțel, în special, se folosesc mașini de tăiat semiautomate și automate cu unul sau mai multe becuri de tăiere; acestea, pe lângă un randament superior, dau tăieturi înguste și foarte curate.

Mișcarea aparatului de tăiere se face cu motor electric sau cu dispozitive electronice. Se construiesc aparate care pot tăia după șabloane.

Tăierea cu oxiar constă în încălzirea piesei cu arcul electric și suflarea unui jet de oxigen. Arcul se formează între electrod și piesă, iar oxigenul se aduce printr-un canal prevăzută longitudinal electricului. Electrozii pot fi metalici, cu înveliș, din cărbune sau alte materiale. Electrocul metallic se consumă. Tăierea cu oxiar este foarte curată, iar consumul de oxigen este mai redus.

Tăierea sub apă se poate practica atât cu oxigaz cît și cu oxiar, deoarece gazele arse nu permit intrarea apei în zona flăcării sau arcului electric; uneori se introduce aer comprimat care protejează și mai bine flacăra. Din cauză că metalul în apă se răcește repede este necesară o flăcără puternică pentru a se asigura temperatura locală necesară. La adîncimi mari, presiunea gazelor admise devine mare; cum la presiuni care depășesc $1,5 \text{ daN/cm}^2$ acetilena explodează, acest gaz poate fi folosit la tăierea sub apă la adîncimi în general pînă la 10 m.

Tăierea cu jet de plasmă constituie un procedeu nou, folosit la unele lucrări din industrie. Plasma este un gaz dissociat, alcătuit din ioni, electroni, atomi, molecule, în continuă agitație. Pentru tăiere, jetul de plasmă, produs cu ajutorul unui arc electric, care străbate împănă cu gazele folosite un canal răcit cu apă, este proiectat asupra locului de tăiere. Temperatura este foarte mare, putînd depăși $+20\,000^\circ\text{K}$ (grade Kelvin). Gazele folosite sînt argonul, hidrogenul sau azotul; electrocul este din wolfram.

Cu jet de plasmă se pot tăia orice metale ca oțeluri aliate, aluminiul.

7. CORDOANE DE SUDURĂ

a. Tipuri de suduri și caracteristicile lor

Diferitele îmbinări sudate se pot grupa în următoarele tipuri de bază; — îmbinări cap la cap, cînd elementele îmbinate sînt așezate unul în prelungirea celuilalt (fig. VI.27, a);

— îmbinări cu piese pîtreante, cînd piesele se pîtreac pe o porțiune oarecare sau sînt în prelungire și acoperite cu ecilise pe o parte sau pe ambele părți (fig. VI.27, b);

— îmbinări în T, cînd una din piese se așază transversal pe alta sub un unghi de 90°C sau mai mic (fig. VI.27, c);

— îmbinări în cruce, cînd pe o piesă se sudază alte două, în prelungire (fig. VI.27, d);

— îmbinări de colț, cînd două piese se sudază între ele pe marginile lor sub un unghi oarecare (fig. VI.27, e).

Cordioanele de sudură pot fi cap la cap, în K sau de colț. *Cordioanele de sudură cap la cap* (în adîncime) se execută pe toată grosimea și pe toată lățimea pieselor. Pentru a se asigura sudarea pe toată lățimea, sudura se întoarce pe marginile piesei sau, mai bine, se folosesc piese de adaos din cupru; sudura care depășește marginile piesei se îndepărtează. Cordonul de sudură se poate executa pe o parte sau pe ambele părți ale fețelor piesei; sudarea pe o singură parte se execută la piese subțiri sau și la cele groase cînd una din fețe nu este accesibilă (fig. VI.28). Marginile piesei nu se prelucurează decît pentru grosimi mai mari decît 5 mm, în funcție de procedeu de sudare. La piesele mai groase, marginile se pregătesc tăindu-se astfel încît, după așezarea pieselor în vederea sudării, să rezulte un șant în care se execută cordonul de sudură; se obțin cordoane de sudură în V sau U, cînd sudura se execută pe

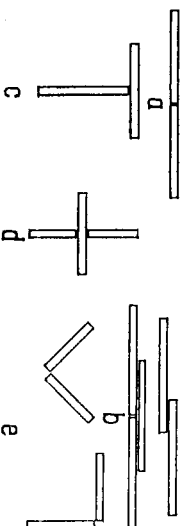


Fig. VI.27. Îmbinări.

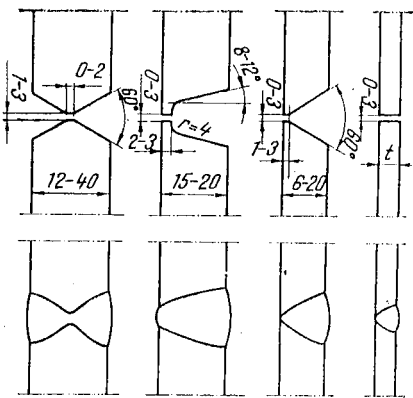


Fig. VI.28. Pregătirea pentru sudare cap la cap.

sudare a electrodului; cu electrozi cu pătrundere mare se pot suda fără prelucrarea marginilor pentru sudare până la 15 mm grosime. Este recomandabil ca prelucrarea marginilor pentru sudare să se facă prin mijloace mecanice.

La sudurile în V trebuie dată o atenție deosebită executării primului strat din fundul șanțului, care constituie ceea ce se numește rădăcina sudurii. Aici apar neregularități din topirea marginilor piesei, unele nepătrunderi sau se adună zgură; se creează creștături foarte dezavantajoase pentru rezistența sudurii. Când pe partea rădăcinii există altă piesă, marginile tăieturii se depărtează puțin, pentru a se putea executa la sudare o trecere care să pătrundă și în piesa a doua; când partea rădăcinii este liberă, se folosește uneori un suport, în general de cupru, care permite ca sudura să iasă în afara piesei și să lege bine muchiile (fig. VI. 29). În cazul când se sudează fără suport, primul strat se execută cu un electrod mai subțire, recomandabil de 3,25 mm; nu este indicată nici utilizarea unor electrozi prea subțiri, din cauză că aceștia, necesitând pentru topire mai puțină energie electrică, materialul depus se răcește prea repede după sudare.

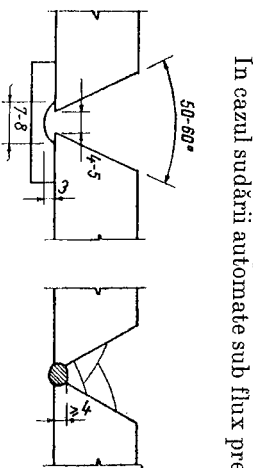


Fig. VI.29. Sudură cu suport.

o parte și în X, când se execută pe ambele părți. Modul de prelucrare a marginilor depinde de grosimea pieselor și de procedul de sudare. Unghiul pe care îl fac marginile pieselor trebuie să îngăduie pătrunderea electrodului și o bună sudare; șanțul nu trebuie însă să fie prea mare, deoarece un volum mare de material depus produce deformatii și eforturi din contracții mari. Prin diferite alte moduri de tăiere a marginilor pieselor groase se reușește să se reducă volumul cordonului de sudură. Sudurile în V se fac pentru piese până la 15 mm grosime, mai rar până la 20 mm; sudurile în X se pot executa la piese cu grosimi de 12 la 40 mm. Lățimile de la fundul tăieturii se iau în funcție și de pătrunderea la sudare.

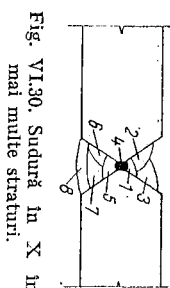


Fig. VI.30. Sudură în X în mai multe straturi.

Un electrod prea subțire depune puțin material, care nu poate rezista eforturilor de contracție care se produc și poate crăpa. Rădăcina cordoanelor de sudură în V se resudează; pentru aceasta se taie un șanț cu polizorul sau prin procedul oxiarce de 4—6 mm adâncime, până se curăță toată partea defectă și apoi se sudează.

Sudarea pieselor groase nu se poate executa într-o singură trecere; executarea cordonului în mai multe treceri se face după răcirea primului strat și după curățirea de zgură prin ciocănire și cu peria de sîrmă. În cazul pieselor mai groase este indicat să se resudeze rădăcina înainte de a se complota toate straturile cordonului în V, pentru a se evita fisurarea prin contracție a rădăcinii.

La sudurile în X se execută diferitele straturi în treceri succesive, pe o parte și pe alta (fig. VI. 30). Dacă piesa se întoarce trebuie executate cîteva straturi pe o parte, pentru ca sudura depusă să poată susține solicitările din timpul întoarcerii piesei. Primul strat care se depune pe partea opusă se sudează numai după curățirea rădăcinii sudurii de pe prima parte.

Cînd piesele care se sudează au grosimi diferite, se realizează prin sudură o racordare, dacă diferența de grosime nu depășește 3—4 mm; cînd diferența este mai mare, racordarea se face în afara sudurii prin țesirea piesei mai groase cu o înclinare de 1 : 4 sau mai mică (fig. VI. 34).

Dimensiunile caracteristice ale cordonului de sudură cap la cap sînt grosimea sudurii a , egală cu grosimea pieselor ce se sudează, și lungimea sudurii l , egală cu lățimea pieselor. Sudurile în adîncime se execută cu un mic bombardant, care se recomandă să fie cît mai mic (2—3 mm). La piesele cu grosimi diferite, grosimea caracteristică a sudurii este egală cu grosimea piesei mai subțiri (fig. VI. 32).

Sudurile în K se execută de obicei la unele îmbinări în T și în cruce; din punct de vedere al comportării sînt echivalente sudurilor în adîncime.

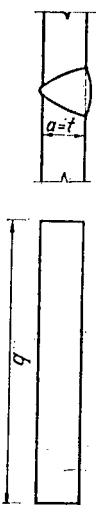


Fig. VI.32. Dimensiunile sudurilor în adîncime.

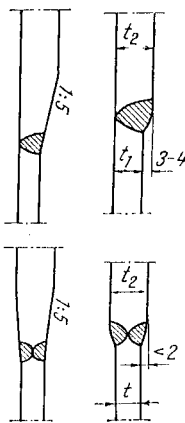


Fig. VI.31. Racordarea pieselor.

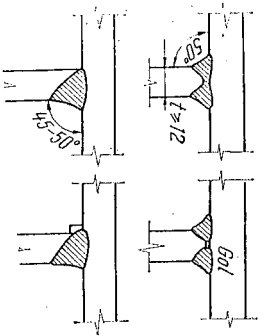


Fig. VI.33. Suduri în K și semi K.

dezavantajos în cazul pieselor solicitate dinamic. În locul sudurilor în K se face la piese subțiri suduri în jumătate K; și aici se resudează rădăcina. Când partea dinspre rădăcină nu este accesibilă se folosesc piese suport, fixate la interior.

Dimensiunile caracteristice sînt grosimea sudurii a , egală cu grosimea t a piesei la suduri fără goluri, și lungimea l a sudurii. Sudarea în lungime se face pe toată lungimea îmbinării, cu completarea capetelor, ca și la sudura în adîncime.

Sudurile de colț se execută în unghiul format de marginile pieselor ce se îmbină (fig. VI.34). Sudurile de colț se execută fără prelucrarea marginilor pieselor. În secțiunea transversală sudurile pot prezenta un mic bombament, pot fi plate sau ușor concave. Bombamentul nu este indicat să fie mare, pentru a nu crea efecte de șant la racordarea cu piese. La piesele solicitate dinamic sînt preferabile sudurile plate sau concave, racordate cu piese în direcția scurgerii eforturilor. Unele tipuri de electrozi depun suduri concave.

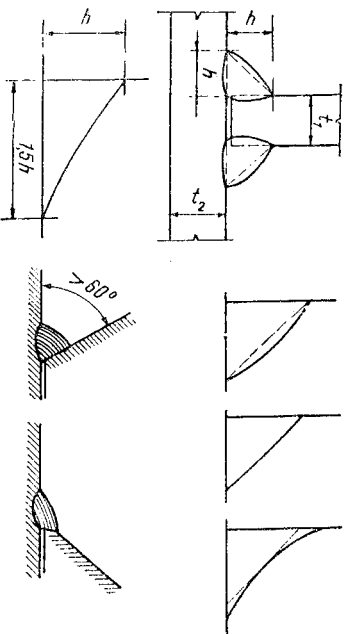


Fig. VI.34. Suduri de colț.

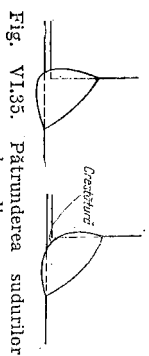


Fig. VI.35. Pătrunderea sudurilor de colț.

Pătrunderea sudurilor de colț trebuie să fie suficientă și să acopere mușchia piesei ce se îmbină (fig. VI.35); o pătrundere insuficientă duce la formarea unor șanțuri, care constituie surse de fisurare.

La piesele care formează unghiuri mici, sudarea se face greu; nu este recomandabil să se facă suduri de colț la unghiuri mai mici decît 60° .

Cordoanele de sudură de colț, așezate perpendicular pe direcția eforturilor, se numesc *frontale*, iar cele așezate paralel cu direcția eforturilor se numesc *laterale* (fig. VI.36).

Cordoanele de sudură de colț cu secțiune mică se execută într-o trecere; cînd secțiunea este mare se execută în mai multe treceri.

Dimensiunile caracteristice ale sudurilor de colț sînt grosimea de calcul a și lungimea de calcul l a cordonului de sudură (fig. VI.37). Dimensiunea a are sensul din fig. VI.37 și este înălțimea triunghiului dreptunghic isoscel inserat în secțiunea sudurii. Între dimensiunea sudurii a și grosimea elementelor care se sudază există o legătură rezultată din necesitatea unei scurgeri raționale a fluxului de eforturi și din realizarea unei bune solidarizări a elementelor care se prind sau căte lucrează împreună.

Transmiterea eforturilor la prinderi cere anumite secțiuni de suduri; sudurile cu grosimi a mici ar duce la lungimi mari de cordoane de sudură, care pot prezenta alte inconveniente.

Dimensiunea sudurii a nu poate fi mai mică decît 3 mm din motive de execuție și de siguranță; sudurile subțiri fisurează mai ușor decît cele mari; ele nu pot fi însă nici mai mari decît $0,7 t_1$, t fiind grosimea piesei mai subțiri, prinsă cu sudură. Face excepție sudurile de la mușchia corbierei și a profilelor t_3 sau a altele de construcție asemănătoare, la care dimensiunea a poate ajunge pînă la $0,85 t$.

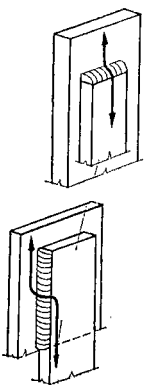


Fig. VI.36. Suduri frontale și laterale.

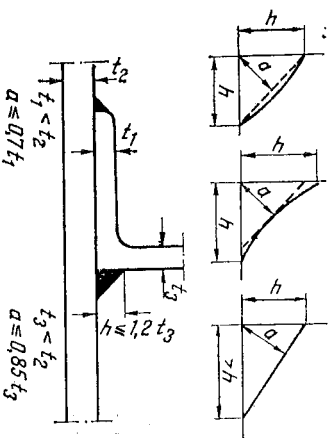


Fig. VI.37. Dimensiunile sudurilor de colț.

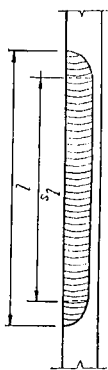


Fig. VI.38. Lungimea sudurilor.

La piesele supuse la acțiuni mobile sau dinamice, pericoul de fisurare fiind mai mare, dimensiunea a nu va fi mai mică decât 5—6 mm.

La suduri care nu transmit eforturi și servesc numai pentru solidarizare se iau în general pentru dimensiunea a valori minime.

Lungimea sudurii poate fi determinată de necesități constructive sau rezultă din elementele de calcul. Constructiv, sudurile pot fi continue și de lungime mare sau întrerupte (fig. VI.38).

În general, sudurile de solidarizare a elementelor de construcție se preferă să se execute continue, mai ales acolo unde sînt încălcări mobile sau dinamice. Sudurile întrerupte dau concentrări de eforturi la capetele lor, pe lângă unele posibilități de acumulare de defecte în aceste puncte, care sînt surse de fisurare.

La construcții solicitate static sau pentru solidarizarea unor elemente la grinzi cu zăbrele etc., se pot executa și suduri întrerupte.

Sudurile de prindere, de înădrire și în general orice suduri care transmit eforturi de la o piesă la alta au lungimi limitate și de preferință nu prea mari. Astfel, în prescripțiile noastre sudurile de prindere nu se admit să aibă o lungime de calcul mai mare decât 60 a , din cauza distribuției neuniforme prea accentuate la cordoanele lungi. Lungimea minimă a cordoanelor de sudură nu trebuie să fie sub 6 a sau 40 mm.

Lungimea maximă nu este limitată în cazul cînd cordonul de sudură transmite eforturi pe tot lungul lui.

În cazul cordoanelor de sudură întrerupte și a celor cu lungime limitată, între lungimea reală a cordonului de sudură și lungimea care se consideră în calcul, adică lungimea pe care se transmite efectiv eforturi, este o diferență. La calcule nu se consideră capetele cordoanelor, care sînt în general incomplete și care au o structură mai puțin uniformă, au defecte ca pori, incluziuni de zgură, lipsă de pătrundere etc.

Pentru un capăt de sudură se consideră o lungime egală cu dimensiunea a , pe care se face de obicei racordarea.

Alte tipuri de suduri sînt sudurile în tăieturi, în găuri și sub formă de nișuri (fig. VI.39).

Sudurile în tăieturi deschise sau închise sînt astăzi folosite mai rar; se execută greu, sînt scumpe și duc la concentrări de eforturi. Din punct de vedere al comportării la solicitări se aseamănă cu sudurile în relief și au toate caracteristicile acestora.

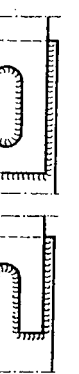


Fig. VI.39. Tipuri speciale de suduri.

Sudurile în găuri, executate prin umplerea cu sudură a unor găuri cu diametre relativ mici, date în una din piese, sau

în întreg grupul de piese, nu sînt indicate pentru construcțiile metalice. Astfel de suduri dau local concentrări mari de eforturi, din cauză că retragerile provocate de contracția sudurii sînt împiedicate. Sudurile în găuri pot provoca fisuri mai ales la construcții solicitate dinamic. Un defect asemănător îl constituie și umplerea cu sudură a unor găuri date greșit.

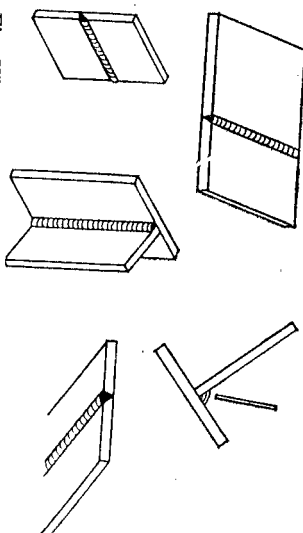


Fig. VI.40. Poziția sudurilor în timpul execuției.

După poziția pe care o au în timpul execuției, cordoanele de sudură pot fi: orizontale, verticale și de plafon (fig. VI.40).

Cordoanele de sudură orizontale sînt acelea care în timpul execuției se găsesc într-un plan orizontal și se sudează astfel încît metalul depus cade de sus în jos; se execută ușor și în condițiile cele mai bune. Astfel de suduri pot fi în adncime sau în relief.

Cordoanele de sudură verticale sînt situate într-un plan vertical; poziția cordonului poate fi verticală sau orizontală.

Sudurile cu direcția verticală se execută cu oarecare greutate, din cauză că zgura și metalul topit au tendința să se scurgă. Trebuie folosiți electrozi care jos; la piese groase este indicată sudarea de jos în sus, acest mod de sudare asigurînd o rezistență mai bună. Sudurile executate de jos în sus au un aspect mai puțin regulat.

Sudurile cu direcția orizontală sîntuate într-un plan vertical se execută greu, topirea piesei fiind mai puțin uniformă și materialul topit avînd tendința să se scurgă lateral cordonului.

Sudurile de plafon sau peste cap se execută foarte greu; se folosesc electrozi cu înveliș gros, care se topește greu. Executarea sudurilor cere o mare îndemnare; poziția sudurului este foarte grea și obositoare; se admit cu măsurii de control.

8. COMPORTAREA SUDURILOR LA DIFERITE SOLICITĂRI ȘI DISTRIBUȚIA EFORTURILOR UNITARE

a. Solicitări statice

Distribuția eforturilor unitare în suduri este influențată de tipul, forma, orientarea cordonului de sudură față de direcția solicitării și de natura solicitării. În cazul unei suduri cap la cap, supusă de exemplu la înțindere perpendicular pe direcția cordonului de sudură, eforturile unitare se distribuie

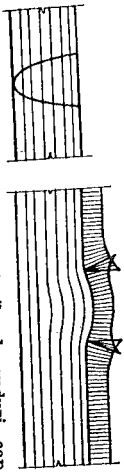


Fig. VI.41. Scurgerea eforturilor la suduri cap la cap.

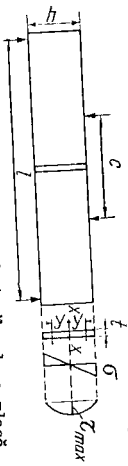


Fig. VI.42. Distribuția eforturilor la o placă încovoiată.

iere (fig. VI.42), distribuția eforturilor unitare se face după relațiile:

$$\sigma = \frac{My}{I_x} \quad \text{și} \quad \tau = \frac{TS}{I_x} \quad (VI.4)$$

La sudurile de colț scurgerea eforturilor unitare se face mai puțin uniform, apărând și concentrări de eforturi (fig. VI.43).

La sudurile frontale (fig. VI.44) distribuția eforturilor unitare este mai complexă. Ruperea cordoanelor de sudură are loc, în general, după o secțiune apropiată de bisectoarea unghiului drept; sînt cazuri cînd secțiunea de rupere se apropie de cateta paralelă cu direcția solicitării sau se confundă cu aceasta, ruperea făcîndu-se prin materialul deșus sau prin zona influențată termic.

Într-o sudură frontală, admițînd că ruperea se face după planul bisector, efortului unitar σ , cu o direcție oarecare, din centrul de greutate O al ariei secțiunii $ABCD$ (fig. VI.45) îi corespund componente: σ_x și T_y . Secțiunea $ABCD$ se admite ca secțiune probabilă de rupere și eforturile unitare, distribuite uniform pe întreaga arie bisectoare a cordoanelui de sudură, efortul N

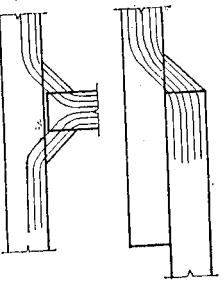


Fig. VI.43. Scurgerea eforturilor la suduri de colț.

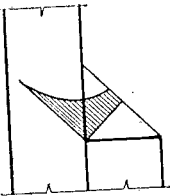
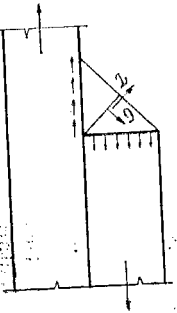


Fig. VI.44. Solicitarea sudurilor frontale.



teoretic uniform pe toată grosimea dacă fețele sudurii sînt plate și la nivelul suprafețelor pieselor îmbinate și dacă nu sînt defecte care să favorizeze concentrări de eforturi; în cazul unei suduri bombate, marginile bombamentului la racordarea cu materialul piesei joacă rolul unor creștături și distribuția eforturilor unitare se modifică, apărînd unele vîrfuri (fig. VI.41). Distribuția eforturilor unitare pe grosimea cordoanelor nu mai este uniformă.

În cazul solicitării la încovo-

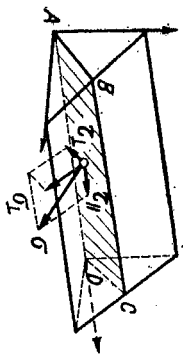


Fig. VI.45. Eforturi unitare în suduri frontale.

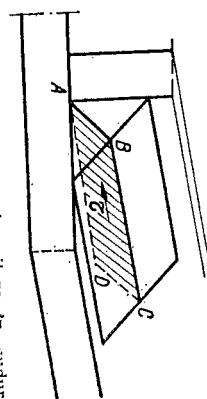


Fig. VI.46. Eforturi unitare în suduri longitudinale.

din care rezultă efortul unitar σ , fiind aplicat în centrul de greutate al ariei secțiunii mediane.

Sudurile laterale sînt supuse obișnuit la eforturi unitare de forfecare longitudinală cordoanelui de sudură; ruperea în acest caz se face prin forfecare după planul median $ABCD$, rezultînd numai eforturi unitare τ (fig. VI.46).

Distribuția eforturilor unitare pe secțiune se admite uniformă. În realitate, distribuția în lungul cordoanelui de sudură se face neuniform, eforturile unitare τ fiind mai mari spre capetele cordoanelui de sudură; în elipse, transversal direcției de solicitare, eforturile unitare sînt de asemenea mai mari spre marginile prevăzute cu cordoane de sudură, cu altă mai mult cu elipsele sînt mai late (fig. VI.47). În cazul cînd sudurile longitudinale sînt întrerupte, distribuția pe ansamblu este asemănătoare, cordoanele din capetele înăcrîndu-se mai mult decît cele din zona centrală.

În cazul unei îmbinări cu suduri de colț, supusă la solicitări complexe (fig. VI.48), distribuția eforturilor unitare se face după cum se arată în continuare.

Forța P produce un moment $P \cdot b$; în suduri, datorită momentului, se vor dezvolta eforturi unitare cu o distribuție lineară (fig. VI.48, a):

$$\sigma_1 = \frac{M}{W_s \sqrt{2}} \quad \text{și} \quad \tau_1 = \frac{M}{W_s \sqrt{2}} \quad (VI.5)$$

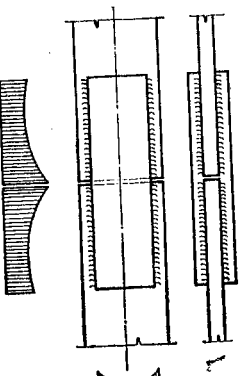


Fig. VI.47. Variația eforturilor unitare la o îmbinare cu suduri longitudinale.

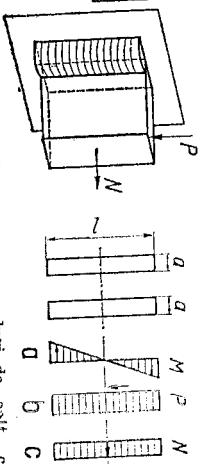


Fig. VI.48. Îmbinare cu suduri de colț, cu solicitare complexă.

in care:

$$W_g = \frac{dl^2}{3};$$

din forța tăietoare $T = P$ vor rezulta eforturi unitare (fig. VI. 48, b)

$$\tau_{II} = \frac{T}{2dl} \quad (VI.6)$$

iar din forța N eforturi unitare (fig. VI.48, c):

$$\tau_{II} = \frac{N}{2\sqrt{2}dl} \quad \text{și} \quad \tau_{I} = \frac{N}{2\sqrt{2}dl} \quad (VI.7)$$

1 fiind lungimea sudurii.

Intr-o îmbinare cu suduri cap la cap și de colț, sudurile de colț, mai rigide, se încarcă mai mult ca cele cap la cap; cînd în aceeași îmbinare sînt suduri frontale și laterale, sudurile frontale se încarcă ceva mai mult ca cele laterale.

b. Solicitări variabile

Sudurile cap la cap cu rădăcina resudată, cu fețele plate, executate manual sau automat în condiții normale, fără defecte, nu pun, în general, în ceea ce privește comportarea la oboseală, alte probleme decît acelea pe care le pune materialul de bază; în cazul tablelor cu lățimi sau grosimi diferite, la marginea sudurilor, apar concentrații de eforturi, care influențează defavorabil comportarea la oboseală. Prelucrarea mecanică a sudurilor ajută la o comportare mai bună a îmbinării.

Sudurile de colț, după forma, orientarea și rolul lor au în general o influență defavorabilă, cu atât mai mare cu cît sînt mai puțin corect executate, deoarece favorizează concentrațiile de eforturi. O sudură de colț nepătrunsă bine și bombată este mai sensibilă la solicitări variabile decît o sudură pătrunsă adînc și cu fețele plane. Sudurile în K, la care rămîne în interior un gol nesudat, sînt sensibile la solicitări variabile cu atât mai mult cu cît golul este mai mare. La sudurile de colț este avantajos să se facă o racordare lină între sudură și materialul piesei.

c. Comportarea la ruperi fragile

Numeroase accidente care au avut loc în cazul construcțiilor metalice sudate, de diferite mărimi și categorii, datorită ruperilor fragile și ceretării efectuate au pus în evidență sensibilitatea construcțiilor metalice sudate la astfel de ruperi; din aceleași studii teoretice și cercetări experimentale rezultă însă că se pot realiza construcții metalice sudate cu suficientă siguranță contra ruperilor fragile.

Elementele analizate la cap. VI. 7 rămîn valabile și în cazul comportării sudurilor și al pericoulului pe care acestea îl prezintă în ceea ce privește ruperea fragilă; se adaugă evident unele elemente specifice sudurilor. Sudura poate fi cauza producerii a numeroase efecte favorabile ruperii fragile; existența sudurii nu generează însă în orice situație o rupere fragilă.

Existența unor fisuri în cordoanele de sudură sau în zona influențată termic poate constitui începutul unei amorse de rupere sau poate provoca propagarea ruperii fragile; aceasta este influențată însă și de caracteristicile plastice ale materialului de bază și ale celui depus prin sudare. Fisura se poate opri sau se propagă pînă la rupere. Rupeii datorite apariției fisurilor pot să se producă în timpul sudării, imediat după răcirea sudurii sau după un timp oarecare. Sînt cunoscute numeroase cazuri cînd ruperea intervine după un timp destul de lung, mai multă ani. Acest fenomen de rupere prin fisurare amorsat, pentru a se produce ruperea fragilă este necesar în general să intervină și alți factori favorabili ruperii fragile.

În timpul sudării pot apărea fisuri foarte mici, care pot, la răcire sau în timpul exploatării, să se dezvolte. Fisurarea la cald este provocată în mare măsură de unele elemente care intră în compoziția metalului topit ca: C, S, P, N, Si, într-o proporție peste anumite limite. Fisurarea la rece apare după solidificarea cuscăturii la temperaturi sub circa 400°C; este favorizată de starea de eforturi din timpul sudării și solidificării, de compoziția chimică și de structura metalurgică, temperatura de exploatare, viteza de solicitare și altele. Un element favorizant îl constituie hidrogenul, dacă acesta pătrunde în metal în timpul sudării din invelişul electrozilor.

Tendința spre rupere fragilă este favorizată și de alte cauze. În cazul laminatelor cu grosimi mari pericoulul de rupere fragilă este accentuat de viteza mare de răcire după sudare, și de împiedicarea deformațiilor, care duce la mărirea eforturilor remanente.

În cazul laminatelor cu grosimi mari, pe lângă alte măsuri, este recomandat să se folosească un oțel calmat cu granulaj fine. Laminatate cu grosimi mari în cazul construcțiilor expuse la ruperi fragile se pot considera acelea care au o grosime de peste 20 mm.

d. Comportarea sudurilor pieselor din aliaje de aluminiu

În principiu, comportarea sudurilor aliajelor de aluminiu este asemănătoare cu aceea a sudurilor pieselor din oțel. Calitățile mecanice ale sudurilor sînt în general sub acelea ale materialului sudat; cu unele procedee de sudare, ca de exemplu în atmosferă de argon, se obțin suduri care au calități superioare celor obținute prin procedee obișnuite.

La solicitări variabile și cu șocuri, sudurile aliajelor de aluminiu se comportă mai puțin bine decît aliajele pieselor; proprietățile mecanice ale sudurilor sînt influențate de creșterea, concentrării de eforturi, pori și alte defecte, într-o măsură mai mare decît sudurile pieselor de oțel.

Sudurile aliajelor de aluminiu se comportă mai bine decât acelea ale oțelurilor la temperaturi scăzute, atât la solicitări statice cât și variabile.

În cazul unor aliaje de aluminiu, cum sînt acelea la care proprietățile mecanice cresc prin îmbătrînire, sub influența căldurii care se dezvoltă la sudare, se micșorează rezistența materialului de bază din apropierea cordoanelor de sudură pe o lățime oarecare, în funcție de regiunile de sudare și de tipul aliajului; lățimea influențată defavorabil poate ajunge la aproximativ trei ori grosimea piesei, de o parte și de alta a cordonului de sudură.

9. CALCULUL SUDURILOR

a. Suduri supuse la solicitări statice

Suduri cap la cap. Sudurile cap la cap, executate corect, avînd rădăcina sudată în cazul sudurilor în V, se calculează, aplicîndu-se aceleași reguli ca și pentru piesa curentă.

În cazul solicitării de compresie, perpendicular pe cordonul de sudură, relația de calcul este

$$\sigma = \frac{N}{a l} \leq R. \quad (VI.8)$$

Aceeași relație se aplică și dacă solicitarea este de întindere, cînd cordonul de sudură a fost controlat 100% cu raze X sau cu radiații gama; dacă controlul a fost efectuat numai cu mijloace obișnuite se înlocuiește R cu $0,80R \dots 0,85R$.

La încovoiere în planul piesei sudate (v. fig. VI.42) se folosește relația

$$\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot \frac{h}{2} \leq R \quad (VI.9)$$

pentru zona comprimată; pentru porțiunile de sudură din zona întinsă se aplică reguli date pentru sudurile supuse la întindere.

În cazul forfecării se aplică relația

$$\tau = \frac{T S}{I_x} \leq 0,60 R. \quad (VI.10)$$

În aceste relații

a — grosimea piesei;

h și l — lungimea cordonului de sudură;

I_x — momentul de inerție al tablei în raport cu axa $x-x$;

N , M și T — eforturile în secțiunea îmbinată prin sudură.

Coefficientul 0,60 este raportul τ_c/σ_c admis în cazul sudurilor. Cînd în cordonul de sudură există eforturi unitare σ și τ poate fi necesară și o verificare cu relația

$$\sigma_{\text{calc}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R; \quad (VI.11)$$

eforturile unitare σ și τ au valorile din punctul considerat.

Unele prescripții admit că nu este necesară o verificare a îmbinărilor cu suduri cap la cap, dacă grosimea sudurii este cel puțin egală cu a piesei cu grosimea cea mai mică de la îmbinare și dacă caracteristicile mecanice ale metalului depus sînt cel puțin egale cu ale materialului pieselor sudate.

Cînd rădăcinile sudurilor în V nu sînt resudate, în relațiile de mai înainte se înlocuiește R cu $0,7R$, ceea ce ține seama de slăbirea ardei secțiunii sudurii produsă de rădăcina nesudată. Nu se pot admite însă cordoane de sudură în V cu rădăcina nesudată, decât excepțional, la elemente de construcții de mică importanță.

Suduri de colț. În cazul sudurilor de colț secțiunea de rupere pentru un cordon de sudură se consideră $A_s = a l$, în care a și l sînt dimensiunile de calcul ale sudurii. Unele prescripții folosesc pentru calcul relația

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \lambda(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leq \alpha R \quad (VI.12)$$

în care: λ este un coeficient a cărui valoare, după recomandarea ISO, este egală cu 1,8;

α — un coeficient mai mic decît 1, variînd între 1,0 și 0,85, după mărimea dimensiunii a a sudurii.

Eforturile unitare σ_1 , τ_1 și τ_2 sînt componentele efortului unitar cu semnificația din fig. VI.45. Asupra valorilor coeficientului λ , determinate pe bază de încercări, sînt încă unele discuții.

Alte prescripții admit să se determine efortul unitar considerînd dimensiunea cordonului de sudură a rabătută pe direcția de solicitare; în acest caz se admite că în cordonul de sudură apar numai eforturi unitare de forfecare τ , situate în planul în care se măsoară dimensiunea a ; acest mod de a proceda este folosit și în normele din țara noastră și este în general acceptat.

O îmbinare cu suduri laterale, paralele cu direcția solicitării N (fig. VI.49) se verifică folosind relația

$$\tau = \frac{N}{\Sigma a l} \leq 0,70 R, \quad (VI.13)$$

iar dacă prinderea este făcută cu suduri frontale

$$\tau = \frac{N}{\Sigma a l} \leq 0,75 R, \quad (VI.14)$$

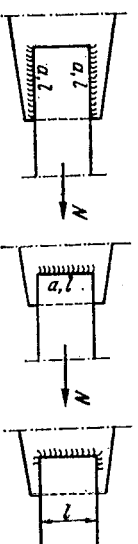


Fig. VI.49. Suduri de colț supuse la eforturi axiale.

deoarece experiențele arată că la sudurile frontale valoarea coeficientului de reducere a rezistenței de calcul R se poate măări peste valoarea 0,70. Lungimea de calcul l a unui cordon de sudură este l , dacă sudurile sînt întoarse și $l-2a$, dacă nu sînt întoarse.

În cazul unei prinderi cu suduri de colț, supusă la încovoiere (fig. VI.50), verificarea se face cu relația

$$\tau = \frac{M}{W_s} \cdot \frac{h}{2}, \quad (VI.15)$$

în care $W_s = \frac{2al^2}{6}$, h fiind lungimea de calcul a cordoanelor de sudură.

La o prindere cu sudură de colț, solicitată de un moment M în planul prinderii (fig. VI.51), efortul unitar τ în punctul cel mai solicitat este

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \leq 0,70 R \quad (VI.16)$$

în care

$$\tau_x = \frac{M}{I_x + I_y} y \quad \text{și} \quad \tau_y = \frac{M}{I_x + I_y} x, \quad (VI.17)$$

x și y fiind coordonatele punctului verificat.

La o prindere cu sudură de colț, solicitată ca în fig. VI.52, eforturile unitare din M , N și T sînt

$$\tau_1 = \frac{M}{I_s} y_{max}; \quad \tau_2 = \frac{N}{\Sigma al} \quad \text{și} \quad \tau_3 = \frac{T}{2a_2 h_2} \quad (VI.18)$$

în care: I_s este momentul de inerție al tuturor cordonanelor de sudură;

y_{max} — distanța de la axa neutră a prinderii la axa cordonului de sudură care se verifică;

a_2 și h_2 — dimensiunile sudurilor de pe inimă.

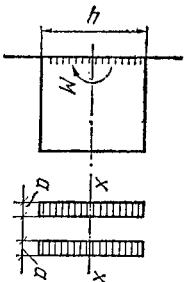


Fig. VI.50. Îmbinare cu suduri de colț supusă la încovoiere

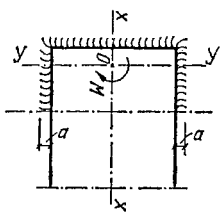


Fig. VI.51. Îmbinare cu suduri de colț supusă la moment în planul prinderii.

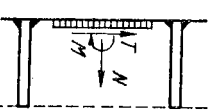


Fig. VI.52. Prinderea unei grinzi cu suduri de colț solicitată la eforturile M , N și T .

În expresia efortului unitar τ_2 , Σal se referă la toate sudurile.

Eforturile M și N produc eforturi unitare în toate cordonanele de sudură; forța tăietoare T se consideră că se distribuie numai sudurilor de pe inimă.

Se fac următoarele verificări:

pentru tălpi

$$\tau_1 + \tau_2 \leq 0,75 R \quad \text{și} \quad (VI.19)$$

pentru inimă

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} + \tau_3^2 \leq 0,75 R; \quad (VI.20)$$

în relația (VI.20) τ_1 se determină cu relația

$$\tau_1 = \frac{M}{I_s} \frac{h_2}{2}. \quad (VI.21)$$

b. Calculul sudurilor aliajelor de aluminiu

În general se folosește metoda rezistențelor admisibile și se aplică aceeași relația de calcul ca la construcțiile din oțel. Rezistențele admisibile sînt cele corespunzătoare aliajelor care se sudează, dacă se asigură materialului după prim sudare cel puțin aceleași caracteristici cu ale materialului pieselor sudate.

10. CALITATEA ȘI CONTROLUL CALITĂȚII SUDURILOR

a. Calitatea sudurilor

Sudura constituie un mijloc de îmbinare superior altor mijloace de îmbinare în măsura în care îndeplinește condițiile de calitate ce le sînt prescrise. În general, calitățile impuse sudurilor sînt diferențiate după natura și importanța construcției și după condițiile în care este exploatată. În țara noastră stabilirea calității sudurilor se face la proiectare pe baza instrucțiunilor tehnice C.150-72 M.C.Ind. pentru construcții civile și industriale și a instrucțiunilor tehnice C.20-70 ISCIR pentru instalațiile sub presiune și de ridicat; aceste instrucțiuni se referă numai la îmbinări cu suduri cap la cap. Pentru sudurile de colț se aplică prevederile din normele referitoare la execuția construcțiilor metalice în general. Calitatea unei suduri este influențată, în mare măsură, și de calitatea materialului de bază și a materialelor de adaos.

Oricare ar fi tipul de sudură și calitatea prescrisă, sînt admise unele abateri de execuție în anumite limite care diferă în funcție de calitatea impusă îmbinării sudate. La deținerea calității sudurilor se au în vedere defecțele aparente, cele ascunse și calitățile mecanice ale sudurilor.

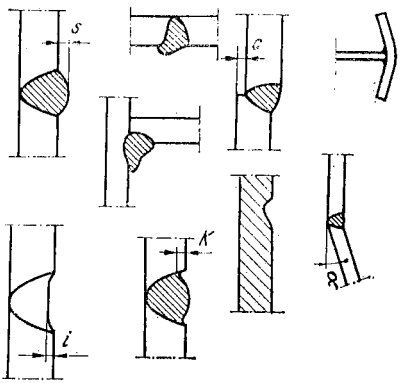


Fig. VI.53. Defecte exterioare, aparente.

in X și in K și la rădăcină la sudurile in V, goluri in general umplute cu zgură;

— hipsă de topire, cind rămîn porțiuni cu o legătură insuficientă pentru materialul de bază și cel de adaos;

— fisuri in cordonal de sudură sau in zona influențată termic, putînd fi transversale sau longitudinale.

In categoria defectelor interioare trebuie de asemenea considerată și structura necorespunzătoare, care rezultă in urma sudării.

Calitățile mecanice ale sudurilor se prescriu in raport cu calitățile mecanice ale materialului pieselor care se sudează; instrucțiunile C. 150-72 impun caracteristicii mecanice numai pentru primele două clase de calitate care sînt mai severe; aceste caracteristici se referă la rezistența de rupere, unghiul de indoire al epruvetelor sudate, energia de rupere KV la încovoiere prin șoc și la duritate.

Pentru aprecierea calitativă a sudurilor cap la cap se folosește un sistem de cinci clase de calitate; la alegerea clasei de calitate se are in vedere o serie de criterii ca:

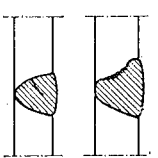
— importanța construcției in ansamblul ei și consecințele pe care le-ar avea pentru viața oamenilor și pentru desfășurarea proceselor tehnologice unele avarieri totale sau parțiale;

— importanța elementului de construcție sudat, a cărui avariere ar antrena cedarea totală sau a unei părți din construcție;

— importanța îmbinării sudate a cărei distrugere ar avaria grav elementul de construcție din care face parte;

— natura solicitărilor: alternante pulsatorii, statice, întindere, compresive;

Fig. VI.54. Defecte interioare.



Defectele aparente se referă la abaterile de la dimensiunile cordonelor de sudură față de cele prevăzute in proiect, la abaterile de formă și la alte abateri cum ar fi: deformarea pieselor sudate, dezaxarea, pieselor, cratere nesudate, scurgerea și revărsarea materialului de adaos, arderea materialului pieselor sudate lângă sudură, fisuri, și pori la suprafața sudurilor (fig. VI.53).

Defectele ascunse sînt defectele interioare (fig. VI.54) și constau in:

— incluziuni de gaze și de zgură răspîndită in cordonal de sudură in general neuniform;

— hipsă de pătrundere, cind rămîn goluri nesudate, in interior la sudurile în V, goluri in general umplute

cu zgură;

— fisuri in cordonal de sudură sau in zona influențată termic, putînd fi transversale sau longitudinale.

In categoria defectelor interioare trebuie de asemenea considerată și structura necorespunzătoare, care rezultă in urma sudării.

Calitățile mecanice ale sudurilor se prescriu in raport cu calitățile mecanice ale materialului pieselor care se sudează; instrucțiunile C. 150-72 impun caracteristicii mecanice numai pentru primele două clase de calitate care sînt mai severe; aceste caracteristici se referă la rezistența de rupere, unghiul de indoire al epruvetelor sudate, energia de rupere KV la încovoiere prin șoc și la duritate.

Pentru aprecierea calitativă a sudurilor cap la cap se folosește un sistem de cinci clase de calitate; la alegerea clasei de calitate se are in vedere o serie de criterii ca:

— importanța construcției in ansamblul ei și consecințele pe care le-ar avea pentru viața oamenilor și pentru desfășurarea proceselor tehnologice unele avarieri totale sau parțiale;

— importanța elementului de construcție sudat, a cărui avariere ar antrena cedarea totală sau a unei părți din construcție;

— importanța îmbinării sudate a cărei distrugere ar avaria grav elementul de construcție din care face parte;

— natura solicitărilor: alternante pulsatorii, statice, întindere, compresive;

Fig. VI.54. Defecte interioare.

Fig. VI.54. Defecte interioare.

Fig. VI.54. Defecte interioare.

— temperatura de exploatare;

— mărimea eforturilor unitare și măsura in care acestea sînt mai apropiate de valoarea rezistenței limită.

In principiu, la construcțiile sudate se urmărește să se asigure sudurilor o calitate cel puțin egală cu aceea a oțelurilor din care se execută elementele construcției. Calitatea și comportarea sudurilor unei îmbinări sudate sînt influențate de diferiți factori, între care natura și mărimea defectelor, individual cum și in ansamblul lor. Prin separarea sudurilor in clase de calitate se urmărește să se impună acestora condiții de calitate gradate in vederea asigurării siguranței necesare diferitelor categorii de construcții.

b. Controlul calității sudurilor

In toate țările, normele referitoare la proiectarea și executarea construcțiilor menționează că metodele și principiile de calcul prevăzute in norme presupun că proiectele și execuția sînt realizate de personal care posedă calificare, competență și experiență și controlul execuției este bine asigurat. Siguranța unei construcții și a elementelor ei depinde de mai mulți factori, între care calitatea sudurilor are un rol important; aceasta impune ca, pe lângă măsurile necesare asigurării execuției unor suduri de calitate corespunzătoare, să se asigure un control organizat pe parcursul execuției lucrărilor in uzinele sau atelierelor care confecționează elementele construcției și la șantierele care execută montajul; recepția lucrărilor pe parcurs și la sfîșit, înainte de darea in folosință a construcțiilor, trebuie de asemenea să asigure printr-un control eficient, conform normelor de recepție, că sudurile corespund prevederilor proiectelor și instrucțiunilor.

Între diferitele mijloace și metode de control se menționează:

— controlul vizual care se face prin examinarea cordonelor de sudură, măsurarea dimensiunilor și a abaterilor, după ce sudura a fost curățată de zgură; această examinare se face înainte ca sudura să fi fost acoperită cu vopsea. Pentru depistarea unor defecte interioare, ca fisuri, goluri, se poate face controlul prin ciocănire. Controlul vizual este necesar să se facă înainte de a se trece la alte forme de control și pe toată lungimea cordonelor, in proporție de 100%, indiferent de tipul sudurii și clasa de calitate;

— controlul defectelor interioare se poate realiza prin diferite metode; acest control se face, pentru unele îmbinări, in proporție de 100%, iar pentru altele in anumite procente, indicate in instrucțiuni și prevăzute prin proiect.

Controlul ultrasonic dă indicații asupra existenței unor defecte interioare, fără însă a pune in evidență natura și dimensiunile lor; in cazul construcțiilor importante, dacă s-a făcut un control ultrasonic, controlul cu raze X sau gama se admite să se facă numai pe porțiunile semnalate cu defecte. Este necesară o aparatură specială și personal calificat și cu suficientă experiență. La acest control unele defecte mici nu sînt sesizate. Se poate aplica cu unele dificultăți și sudurilor de colt.

Controlul cu pulbere magnetică se aplică ușor, în special în cazul sudurilor cap la cap, și pune în evidență defecte ca incluziuni, fisuri etc., mai ales când acestea sînt aproape de suprafața cordonului; se aplică deosebi la prese cu grosimi mici.

Controlul cu substanțe penetrante pune în evidență aproape toate defectele și este ușor de aplicat, indiferent de forma construcției; de cele mai multe ori se combină cu alte metode de control. În general este aplicat acolo unde nu este accesibil controlul radiografic sau ultrasonice.

Controlul cu pulbere magnetică și cu substanțe penetrante, deși ușor de aplicat, pun probleme deosebite la interpretarea rezultatelor, fiind necesar să fie folosiți operatori cu multă experiență. Aceste controale, în general, se pot aplica și sudurilor de colț.

Controlul radiografic se face cu radiații X sau gama și se aplică obișnuit îmbinărilor cu suduri cap la cap. Se obțin rezultate suficient de sigure și de aceea constituie în prezent unulul mijloc de control al îmbinărilor sudate importante. Și la acest control nu pot fi înregistrate unele defecte mici, ca pori, fisuri etc.

Controlul prin probe de presiune se face în unele cazuri la conducte, rețenți, după indicațiile proiectului; pun în evidență calitățile de etanșitate și de rezistență ale îmbinărilor. Înainte de aceste probe, este necesar să fie făcut controlul vizual și, după caz, cu radiații sau alte metode.

Unele prescripții, deosebi la clasele de calitate superioară ale sudurilor (clasele I—III), impun și verificări prin încercări mecanice și examen metalografic pe probe marlor, luate pe parcursul sudării, în funcție de importanța construcției.

VII. NITURIA

1. NITURI PENTRU CONSTRUCȚII

a. Nituri pentru construcții din oțel și aliaje de aluminiu

Nituria constituie un mijloc de îmbinare care a fost larg folosit în trecut la construcțiile metalice. Astăzi acest mijloc de îmbinare se folosește încă la unele construcții grele, supuse la solicitări dinamice și la unele lucrări de montaj; sudarea a înlocuit aproape complet nituria.

Nitul pus în operă este alcătuit obișnuit din țije și două capete (fig. VII.1); nitul brut este alcătuit dintr-un cap, avînd forma unei calote sferice, numit *cap de așezare*, și o țijă cilindrică. Pentru executarea îmbinării prin niturie, piesele se găuresc. Nitul brut se introduce în gaură, încălzit la $1\ 050 \dots 1\ 150^\circ\text{C}$; capul de așezare este ținut presat cu o *contrabuterolă*, iar de cealaltă parte se formează al doilea cap cu ajutorul unei *butevole*, prin presiune (la măsina de nituit), sau prin batere (cu nitulorul pneumatic). După răcire, nitul se contractă și stringe bine pachetul de piese.

Pentru construcții din oțel, niturile se confecționează din oțel, care pe lângă calități de rezistență, corespunzătoare calităților pieselor de oțel care se nituiesc, trebuie să aibă și calități plastice bune, pentru a se putea forma capul la batere fără ca materialul să fissureze.

Pentru piese din OL 37 se folosesc nituri din OL 34, iar pentru piese din oțeluri cu mărci mai ridicate, de exemplu OL 44, se pot folosi nituri din OL 37; pentru piese din oțeluri slab aliate, ca OL 52 trebuie folosite nituri din oțel slab aliat fabricat în mod special de categoria OL 44.

Pentru construcții din aliaje de aluminiu se folosesc nituri din aliaje de aluminiu, care se bat la rece sau la cald.

Forma niturilor pentru construcții din oțel este arătată în fig. VII.2. Nitul normal are capul în formă de calotă sferică (aproximativ o jumătate sferă); țija este racordată cu capul. Diametrul capului este $D \approx 1,6 d_1$, d_1 fiind diametrul nitului; înălțimea capului este aproximativ $0,65 d_1$. Lungimea țijeii l_s se ia egală cu lungimea de strîns l_s plus o cantitate, care corespunde

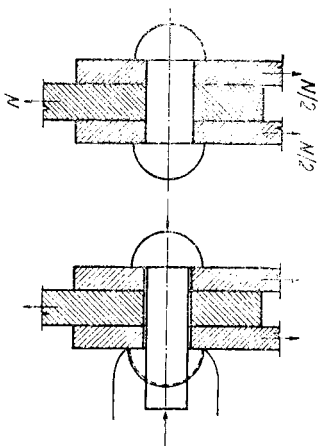


Fig. VII.1. Nit pus în operă.

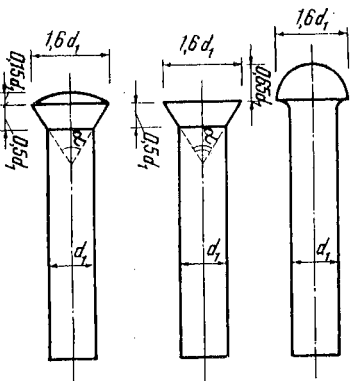


Fig. VII.2. Tipuri de nituri.

Niturile cu cap înecat au capul de așezare de forma unui tronchi de con; unghiul α este de 75° pentru nituri cu diametrul pînă la 12 mm, 60° pentru diametre pînă la 24 mm și 45° pentru diametre mai mari. Diametrul capului este același ca la niturile cu cap semitrondat, iar înălțimea capului aproximativ $0,5 d_1$.

Niturile cu cap semitrondat au în afară de partea tronconică și o calotă sferică de înălțimea de circa $0,25 d_1$.

Cele mai folosite sînt niturile normale cu cap semitrondat; cînd nu începe capul se folosesc nituri cu cap înecat; niturile cu cap înecat se folosesc rar. Dacă fața piesei trebuie să rămînă plană, se preferă să se folosească tot nituri semitroncate și să se îndepărteze partea sferică a capului semitrondat după batere.

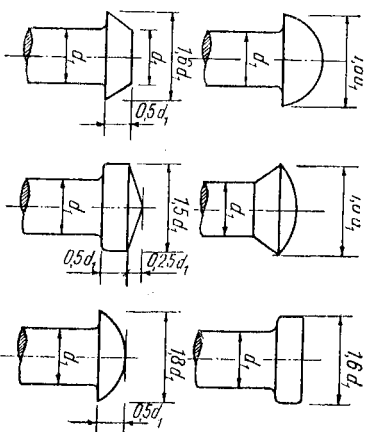


Fig. VII.3. Nituri pentru construcții din aliaje de aluminiu.

materialelor necesare pentru umplerea găurii și formarea capului al doilea.

Lungimea țigii rezultă $l = l_g + 4 d_1/3$ pentru niturile care se bat cu mașina și $l = l_g + 7 d_1/4$ pentru niturile care se bat cu mîna.

Diametrul găurii d este ceva mai mare decît diametrul țigii nitului pentru a se putea introduce nitul încălzit în gaură; $d = d_1 + 1$ mm. Diametrele niturilor și ale găurilor cele mai utilizate după normele noastre sînt:

- 21, 25, 29 mm;
diametrul găurii = $d = 13, 17, 20, 24, 28$ mm.
diametrul nitului = $d_1 = 12, 16,$

Lungimea de strîns l_g a niturilor este limitată din motive de batere și din faptul că niturile cu lungimi de strîns mari au o comportare mai puțin bună. Practic este recomandabil ca $l_g \leq 4 d$; se admit lungimi l_g pînă la $5 d$.

Niturile pentru construcții din aliaje de aluminiu se fac din aliaje de aluminiu și pot avea forme ca ale niturilor din oțel, și anume a niturilor normale sau cu cap semitrondat.

Se mai folosesc nituri cu cap cilindric sau în formă de tronchi de con, cu cap eliptic și alte forme (fig. VII.3).

În cazul niturilor din aliaje de aluminiu care se bat la rece, diametrul găurii este cu $0,4-0,8$ mm mai mare decît al nitului; pentru cele care se bat la cald diametrul găurii este ceva mai mare, pentru a se putea introduce țija încălzită (1 la $1,5$ mm).

b. Tehnologia niturii

Găurirea pieselor pentru nituire se face prin ștanțare sau cu burghitul. Ștanțarea nu este admisă decît la piese secundare sau, la alte prese, cînd se face la un diametru cu $4-5$ mm mai mic decît diametrul găurii, lărgirea la diametrul definitiv făcîndu-se cu burghitul. După asamblare, găurile pieselor care se nituiesc trebuie să fie în prelungire; această coincidență se realizează numai dacă întregh pachetul de piese a fost găurit deodată sau dacă găurile au fost date pe piese separate la un diametru mai mic, lărgirea la diametrul definitiv făcîndu-se în pachet.

Găurile trebuie să fie curate, lipsite de rugină, aşchii etc. În cazul construcțiilor importante, supuse la încălziri mari sau la solicitări dinamice este necesar ca marginile găurilor să fie teșite (fig. VII.4) pentru a se înlătura efectul de crestare dintre țigă și cap.

Piesele asamblate în vederea niturii se strîng cu buloane de montaj, așezate la intervale de $4-5$ găuri, astfel încît să nu rămînă spații între diferite elemente. Înainte de a fi introduse în găuri niturile se încălzesc la $1050 \dots 1150^\circ\text{C}$. Capul de așezare este ținut și presat cu o contrabuterolă, iar capul al doilea se formează prin presare sau batere cu dispozitive de nituit, care au în capătul lor buterole.

Buterola are forma și dimensiunile din fig. VII.5. În timpul baterii, materialul piesei se încălzește în jurul găurii, țigă nitului sub efectul presiunii se deformează lateral și umple gaura. La sfîrșitul niturii, cînd nitul se eliberează, temperatura nitului este încă ridicată, $500 \dots 600^\circ\text{C}$. Ca urmare a răcirii, țigă nitului se scurtează; într-o oarecare măsură se micșorează și grosimea piesei, dar mai puțin decît țigă nitului, care este mai caldă. Rezultă în final în țigă nitului o solicitare de întindere, care face ca cele două capete să apese puternic asupra pieselor și să le strîngă bine. După răcire, în țigă niturilor se dezvoltă un efort unitar de întindere de $600-800$ daN/cm².

În cazul aliajelor de aluminiu nituirea este preferabilă să nu se facă la cald, din cauză că temperatura ridicată a niturilor va influența termic materialul piesei pe o zonă oarecare în jurul găurii. De aceea este indicată

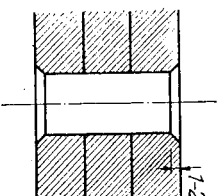


Fig. VII.4. Teșirea marginilor găurilor.

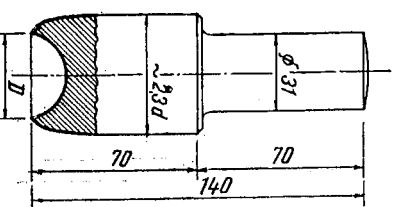


Fig. VII.5. Buterola.

niturirea la rece. Unele aliaje de aluminiu au proprietăți plastice suficiente de bune și în stare îmbătrânită; altele, cum sînt aliajele din grupa dur-aluminiului, de exemplu, nu pot fi deformate plastic la rece în stare îmbătrînită, din cauza răpăturilor care se produc în capul nitului. Astfel de nituri sînt mai înaltă încălzite timp de 2—3 min la temperaturi de 200 ... 250°C, corespunzătoare compoziției aliajului, astfel încît să dispară efectul îmbătrînirii. Niturile răcite, în această stare, au în general calitate plastică desul de bune pentru a fi deformate la rece. Este necesar însă ca niturile să fie bătute pînă la cel mult 2—3 ore după tratarea termică, deoarece efectul de îmbătrînire începe să se refacă repede după acest interval de timp.

După batere, la 4—5 zile, proprietățile mecanice ale niturilor bătute ajung la cele corespunzătoare aliajului respectiv.

c. Așezarea niturilor

Niturile dintr-o construcție metalică pot fi de rezistență și de solidarizare. Niturile de rezistență transmit eforturi de la o piesă la alta, la înădări, înbînări etc.; niturile de solidarizare împiedică alunecarea între piese, uniformizează distribuția eforturilor între piese, string piesele între ele, astfel încît să nu rămîna interspații etc.

Diametrul nitului se alege în funcție de grosimea t a piesei celei mai subțiri. În calcul, și deci și în cele ce urmează, prin diametrul d al nitului se înțelege diametrul nitului pus în operă, care este egal cu diametrul găurii.

Orientativ, pentru piese cu $t < 20$ mm se poate lua $d_1 \geq t + 2$ mm, iar pentru $t > 20$ mm, $d_1 \geq 20$ mm.

În aceeași piesă și chiar în aceeași lucrare este recomandabil să se folosească nituri cu unul sau cel mult două diametre diferite.

Niturile se așază pe linii în direcția fluxului de eforturi, între linii păstrîndu-se distanțe numite intervale (fig. VII.6).

La prinderi niturile se așază cît mai strîns, la distanțe minime sau apropiate de cele minime; niturile de solidarizare se așază la distanțe maxime. Distanțele între nituri se rotunjesc și se uniformizează preferîndu-se să se aleagă pe aceeași piesă distanțe egale, diferite pentru niturile de prindere și pentru cele de solidarizare. Distanțele minime și maxime sînt date în tabelul VII.1.

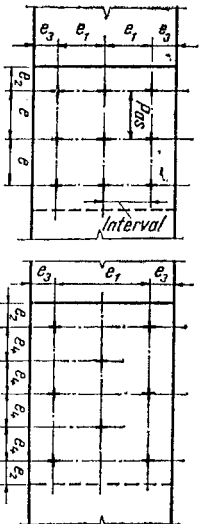


Fig. VII.6. Așezarea niturilor.

Distanțele minime sînt

impuse de necesități de execuție, spre a se evita deformările în timpul bătării și de condiții de rezistență, pentru a se evita forțarea în intervalul dintre două nituri. Distanțele maxime sînt impuse de necesitatea unei bune stringeri a elementelor pieselor.

TABELUL VII.1

Denumirea	Distanțele niturilor	
	Minimă	Maximă
Distanța minimă între centrale niturilor pe o direcție oarecare	3 d	—
Distanța maximă între centrale niturilor pe linii marginale, cînd marginea nu este înfățișată cu corniere, la înțindere și compresune	8 d sau 12 t	—
Distanța maximă între centrale niturilor pe linii interioare și de asemenea pe cele de margine cînd există corniere de margine	—	—
— la înțindere	—	16 d sau 24 t
— la compresune	—	12 d sau 18 t
Distanța de la centrul nitului pînă la margine:	—	—
— în direcția efortului	2 d	4 d sau 8 t
— transversal efortului:	—	—
— cînd marginile sînt tăiate	1,5 d	4 d sau 8 t
— la profile laminate	1,2 d	4 d sau 8 t
Intervalul între linii	3 d	16 d sau 24 t

Notă. t este grosimea celui mai subțire element exterior.

În cazul profilelor laminate, la alegerea distanțelor, trebuie ținut seama și de alte considerații: posibilitatea introducerii buterolei, evitarea așezării capului nitului pe racordare etc.

La o cornieră niturile pot fi așezate pe o linie sau pe două (fig. VII.7); în cazul unei singure linii distanța w de la muchia cornierei la linie se ia buterolei (fig. VII.8). Se ține însă seama și de posibilitatea introducerii

La construcțiile din aliaje de aluminiu, la așezarea niturilor se aplică aceleași reguli.

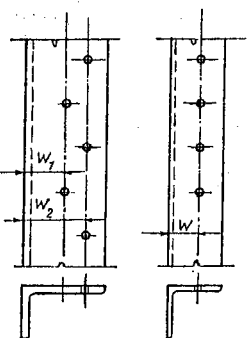


Fig. VII.7. Așezarea niturilor la corniere.

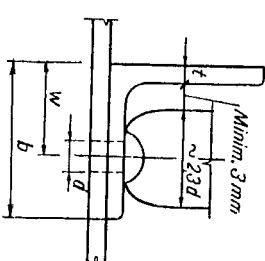


Fig. VII.8. Distanțe la profile.

2. COMPORTAREA NITURILOR LA DIFERITE SOLICITĂRI

Starea de eforturi a unei îmbinări nituite este foarte complexă și greu de stabilit exact.

În materialul piesei apar în jurul găurii concentrații de eforturi; nitul este supus la eforturi unitare de forfecare, de presiune pe pereții țigii și de întindere în țigă, a căror distribuție este destul de variată. Calculul niturilor se face totuși în mod simplificat. În fig. VII.9 și VII.10 se arată o imagine calitativă a fenomenelor care se produc și modul în care sînt interpretate aproximativ.

Niturile de pe aceeași linie a unei îmbinări nu se încarcă egal, din cauza deformațiilor diferite ale pieselor ce se prind; într-un interval oarecare dintre două nituri cele două piese sînt sollicitate diferit. Din această cauză, cînd sînt mai mult de două nituri pe o linie, niturile de margine se încarcă mai mult decît cele centrale și diferența este cu atît mai mare cu cît sînt mai multe nituri pe o linie (fig. VII.11). Față de o distribuție egală, niturile de margine pot ajunge să se încarce cu 30—40% mai mult; aceasta depinde însă și de forma îmbinării, de dimensiuni etc. Pe măsură însă ce se produc deformații plastice diferențele se micșorează. Pentru aceste motive, în practică se consideră o repartizare egală la toate niturile a forței care trece prin centrul de greutate al niturii; se limitează numărul niturilor pe direcția forței la 5—6.

În practică, sollicitarea complexă a nitului este analizată în mod simplificat, considerîndu-se efectul de forfecare și de presiune pe pereții țigii; înținderea țigii se verifică atunci cînd apar astfel de sollicitări din acțiuni directe.

Forfecarea țigii nitului se consideră pe linie de alunecare ale îmbinării; pot exista una, două secțiuni de forfecare și în unele cazuri mai multe. Diametrul nitului fiind mic, se consideră că efortul unitar de forfecare τ se distribuie uniform pe secțiunea nitului.

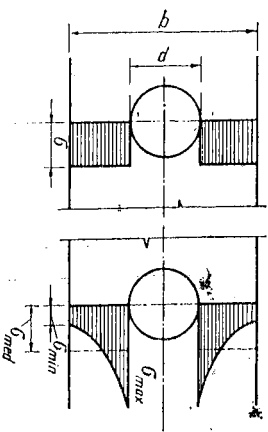


Fig. VII.9. Eforturi în piesa găurită, admise la calcul și reale.

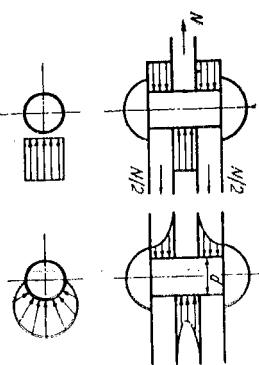


Fig. VII.10. Presiuni pe țigă admise la calcul și reale.

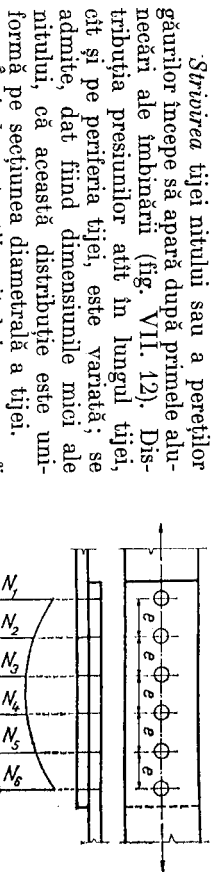


Fig. VII.11. Distribuția eforturilor în nituri.

Strivirea țigii nitului sau a pereților găurilor începe să apară după primele alunecări ale îmbinării (fig. VII.12). Distribuția presiunilor atît în lungul țigii, cît și pe periferia țigii, este variată; se admite, dat fiind dimensiunile mici ale nitului, că această distribuție este uniformă pe secțiunea diametrală a țigii.

Întinderea în țigă nitului, care ar fi produsă de acțiuni exterioare, se urmărește, în general, să fie evitată. După răcire, în țigă nitului se dezvoltă eforturi unitare, a căror valoare nu poate fi controlată; dacă apare în țigă un efort unitar de întindere din acțiuni exterioare, presiunea dintre piesele în contact scade, devenind egală cu zero cînd întinderea în țigă a atîns valoarea efortului unitar de întindere care a rezultat din răcirea nitului. Dacă efortul unitar din acțiunile exterioare crește, piesele rămîn nestrînse, joacă și nituirea se poate distruge repede. Se apreciază că practic eforturile unitare în țigă niturilor în urma răcirii sînt de $600-1000/\text{daN/cm}^2$; pentru a rămîne un efort care să asigure stringerea pieselor, eforturile unitare în țigă niturilor din acțiuni exterioare se limitează la valori mici, în jurul a $0,4 \sigma_c$.

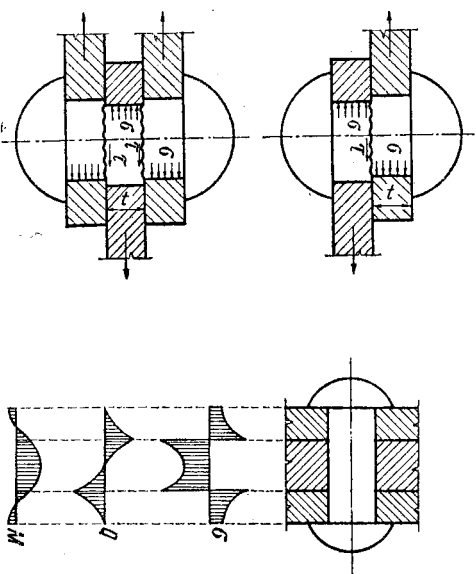


Fig. VII.12. Forfecare și strivire

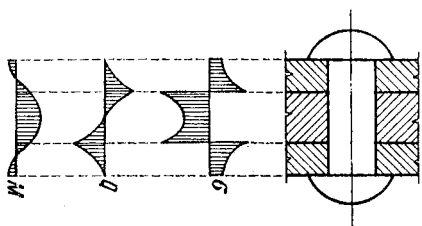


Fig. VII.13. Sollicitările nitului din încovoiere.

Încovoierea tijei se produce în urma deplasărilor care apar în îmbinare în urma acțiunilor exterioare; nitul se comportă ca o bară scurtă aşezată pe reazeme late; în acelaşi timp tija este întinsă şi efectul de încovoiere măreşte acest efort (fig. VII.13).

3. CALCULUL ÎMBINĂRIILOR NITUTE

Îmbinările supuse la o forţă P , care trece prin centrul de greutate al niturii, forţa fiind cuprinsă în planul niturii, se calculează la forfecare sau la strivirea pereţilor niturilor (fig. VII. 14). În aceste condiţii se admite că forţa P se distribuie egal la cele n nituri ale îmbinării, unui nit revenindu-i un efort $N = P/n$. Rezistenţa de calcul se admite egală cu $0,8 R$, R fiind rezistenţa de calcul pentru oţelul din care este confecţionat nitul. Rezistenţa la presiune pe pereţii nitului se alege, ţinând seama că contactul între pereţii nitului şi ai găurii este local şi că unele plastificări locale nu influenţează buna funcţionare a niturii. Se poate admite că valoarea rezistenţei de calcul a materialului pe pereţii găurii este $2,5 R$, R fiind rezistenţa de calcul a materialului din care este confecţionat nitul. În unele ţări se admite $2 R$ la $3,5 R$, după importanţa îmbinării. În aceste condiţii presiunea pe pereţii nitului nu intervine decât pentru piese subţiri, adică numai dacă diametrul nitului d este mai mic decât $4t$, când nitul este supus la simplă forfecare şi $2t$, când sînt două secţiuni de forfecare.

Relaţiile de calcul sînt

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,8 R \text{ în cazul forfecării} \quad (VII.1)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 2,5 R \text{ în cazul presiunii pe pereţi.} \quad (VII.2)$$

În aceste relaţii $A = \frac{\pi d^2}{4}$ în cazul forfecării simple şi $A = \frac{2 \pi d^2}{4}$, în cazul forfecării duble; în cazul presiunii pe tija nitului $A = dt$, t fiind lungimea cea mai mică a tijei pe care se exercită presiunea în direcţia solicitării.

Îmbinările supuse la un moment care acţionează în planul îmbinării se dimensionează pe baza nitului cel mai solicitat (fig. VI.15). Într-un nit oarecare, efortul este

$$N_i = N_i r_i \quad (VII.3)$$

în care: N_i este solicitarea într-un nit situat la distanţa $r = 1$ de centrul niturii O şi r_i ,

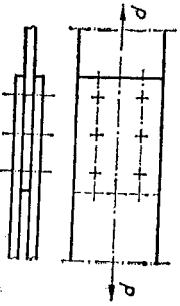


Fig. VII.14. Nituri supusă la o forţă axială.

distanţa de la O la nitul considerat. Momentul M , aplicat în centrul de greutate O al niturii, este echilibrat de suma momentelor solicitărilor niturilor, deci

$$M = \sum N_i r_i = N_i \sum r_i^2 \quad (VII.4)$$

Din relaţiile (VII.3) şi (VII.4) rezultă

$$N_i = M \frac{r_i}{\sum r_i^2} \quad (VII.5)$$

În practică este mai uşor să se lucreze cu proiecţiile X_i şi Y_i ale solicitării. Din figură se vede că

$$X_i = N_i \sin \alpha_i = N_i \frac{y_i}{r_i} = M \frac{y_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$Y_i = N_i \cos \alpha_i = N_i \frac{x_i}{r_i} = M \frac{x_i}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \quad (VII.6)$$

Efortul în nitul cel mai solicitat se verifică la forfecare sau la presiunea pe gaură cu relaţiile (VII.1) şi (VII.2).

În cazul în care niturarea este dispusă după o direcţie, de exemplu Oy , distanţele x fiind mici, se poate neglija componenta X_i (se face $x_i = 0$) şi rezultă

$$N_{max} = M \frac{y_{max}}{\sum y_i^2} \quad (VII.7)$$

Într-o nituire supusă la un moment M şi forţele P şi Q , aplicate în planul niturii (fig. VII.16), solicitarea într-un nit este

$$N = \sqrt{\left(X_i + \frac{P}{n}\right)^2 + \left(Y_i + \frac{Q}{n}\right)^2} \quad (VII.8)$$

În cazul unei niturii supuse la un moment M , care acţionează normal pe planul niturii, determinarea solicitării într-un nit se face ţinând seama că în îmbinare nu se pot transmite compresioni în lungul tijelor niturilor (fig. VII.17). Ca urmare a efectului momentului M vor apărea eforturi unitare de întindere în niturile din zona întinsă, iar compresunile din zona comprimată se vor transmite

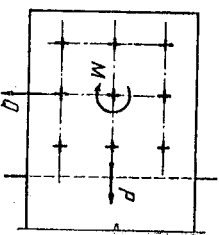


Fig. VII.16. Nituri supusă la forţe şi moment.

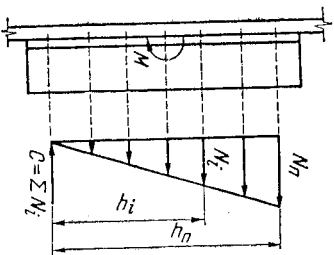


Fig. VII.17. Nituri supuse la întindere în țije.

prin contactul dintre piese. Axa neutră în acest caz se apropie foarte mult de nitul de margine; practic se poate considera că rotirea secțiunii se face în jurul axei care trece prin nitul de margine al părții comprimate. Eforturile în niturile întinse sînt porționale cu distanța la axa neutră. Rezultă imediat:

$$N_2 = M \frac{h_2}{h_1^2}; \quad (\text{VII.9})$$

efortul la întindere în nitul cel mai solicitat

efortul unitar în țijă

$$\sigma = \frac{N_2}{A} \leq 0,4 R \quad (\text{VII.10})$$

unde A este aria secțiunii nitului la fundul filetelui. Este recomandabil să nu se folosească îmbinări cu nituri supuse la întindere în țije în cazul solicitărilor variabile și cu șocuri.

La construcțiile din aliaje de aluminiu calculul niturii se face în același mod.

4. ALEGEREA MATERIALULUI ȘI CONTROLUL CALITĂȚII NITURII

a. Materiale pentru construcții din oțel nituite

Unele probleme pentru alegerea oțelurilor la construcțiile nituite în scopul de a se evita rupele fragile, se pun și la construcțiile nituite, deși aspectele problemelor sînt diferite de acelea care intervin la construcțiile sudate; o serie de factori favorabili rupei fragile intervin sub alte forme și cu efecte mult mai reduse.

La construcțiile nituite se pot folosi oțeluri din clasele de calitate 1, 2 sau 3 după importanța construcției și a solicitării; se pot folosi la multe elemente de construcții oțeluri necalmate.

Pentru elementele de construcții cu solicitări mari, care în exploatare se găsesc la temperaturi peste -25°C , se recomandă să se folosească clasa de calitate 2, iar cînd se găsesc la temperaturi sub -25°C , se recomandă clasa de calitate 3.

b. Controlul calității niturii

Îmbinările nituite constituie adesea locuri slabe ale unei construcții metalice.

Calitatea unei îmbinări nituite este influențată sensibil de calitatea pregătirii pieselor în vederea niturii.

Elementele piesei care se nituiește trebuie să fie bine așezate și în contact unele cu altele. Găurile trebuie să coincidă în tot lungul lor, să fie curate și neruginite. Dacă găurile au fost date pe piese separate, se fac la un diametru mai mic cu 3—4 mm decît diametrul definitiv și apoi se lărgesc la diametrul definitiv prinalezare. Găurile defecte, ruginite se curăță cu burghie speciale, iar așchile de la marginile găurilor se curăță cu freze comice.

Executarea niturii se face după o tehnologie corespunzătoare, cu măsuri speciale pentru niturile cu țije mai mare sau cu diametre peste 25 mm.

Controlul calității niturilor urmărește să stabilească defectele care depășesc limitele admise de instrucțiuni. Defectele niturilor pot consta în defecte neadmisibile și defecte admise cu oarecare abateri limitate.

Dintre defectele neadmisibile sînt:

niturile care joacă, neavînd o tensiune suficientă în țije, nu string piesele în mod suficient. Defectul se poate constata prin ciocănire cu un ciocan ușor de 0,25—0,40 kg. Ciocanele de 0,40 kg se folosesc pentru nituri mai groase decît 20 mm. Cu un deget pus pe unul din capetele nitului se percep tremurăturile în urma loviturilor ușoare ce se dau cu ciocanul pe același sau pe celălalt capăt;

niturile care nu string pe tot conturul capului; între capul nitului și piesă nu trebuie să rămîna spațiu. O lamă de 0,1 mm grosime nu trebuie să intre între cap și piesă;

niturile care nu string piesele suficient de bine, între piesele nituite rămînd unele spații. O lamă de 0,1 mm grosime se cere să nu poată intra între piese în nici un punct;

niturile care au capul crîpat sau ars fie din defecte de material, fie din arderea nitului;

niturile care nu umplu gaura complet, nu sînt bine îndesate. Constatarea acestui defect este mai complicată. De obicei se alege de recepționar un număr de nituri de la 5 la 10% din diferite porțiuni, care se taie (3—4 nituri la o prindere sau înădire). În cazul cînd se constată astfel de defecte, niturile se înlocuiesc.

Sînt admisibile cu toleranțe:

niturile avînd capetele strambe sau deplasate față de axa țijeii cu cel mult 0,1 d (d este diametrul nitului);

niturile cu bururi în jurul capului pînă la maximum 3 mm;

creștături în materialul piesei, în jurul capului de nit, provocate la batere, pînă la maximum 0,5 mm adîncime;

derriveluri pe suprafața capului nitului de maximum 0,5 mm; *umplerii incomplete* la capetele niturilor frezate, însă nu mai mult decît 0,1 d adîncime.

Niturile cu defecte neadmisibile se înlocuiesc imediat, tăindu-se unul din capete cu dalta de mină, cu dalta pneumatică sau cu flacăără, fără a se deteriora materialul piesei. Țija nitului se soate prin băterea cu un prboi. Niturile înepente sau cu două capete frezate se scot prin găurire. Nu este admisibilă corectarea defectelor prin ștemurire sau presare la ree a niturilor.

1. ȘURUBURI PENTRU CONSTRUCȚII

a. Șuruburi obișnuite pentru construcții din oțel

Îmbinările cu șuruburi erau foarte mult folosite înainte de apariția niturilor și a sudurii. În ultimul timp, necesitatea unui montaj ușor și rapid a dus la folosirea din nou a unor îmbinări de șantier cu șuruburi. Se mai întrebunțează șuruburi, în locul niturilor, la îmbinări care dau sollicitări mari de întindere în țija și la îmbinări cu grosimi de strîns mari.

Șuruburile obișnuite sînt alecătuite dintr-o țijă cilindrică și un cap; la extremitatea țije se poate înșuruba o piuliță (fig. VIII.1). Pentru ca partea filetată să nu pătrundă în grosimea pieselor, sub piuliță se așază o șabă. Capul șurubului are forma exagonală și este racordat cu țija, raza racordatări fiind de aproximativ 2 mm. Fața capului dinspre țijă este plană, iar cealaltă este teșită printr-o suprafață conică. Înălțimea capului k este aproximativ 0,65 d ; diametrul cercului înscris în exagon s este 1,5 d .

Piulița are aceeași formă ca și capul; are teșituri conice la ambele fețe. Înălțimea piuliței m este aproximativ 0,8 d .

Țija are la capătul liber un filet; obișnuit, filetul este astfel încît piulița se înșurubează învîrîndu-se în sensul mișcării acelor de ceasornic. Capătul liber al țije se termină cu o calotă sferică.

Lungimea totală a țije l este egală cu lungimea de strîns l_s , la care se adaugă grosimea șabei, înălțimea piuliței, înălțimea calotei și o lungime c de 3—7 mm, deci

$$l = l_s + m + 10 \dots 15 \text{ mm.}$$

Filetul este tăiat pe o lungime de țijă, astfel încît după montarea șurubului, începutul filetului să rămînă în șabă. Obișnuit se folosesc șuruburi cu filet metric, care se notează printr-un simbol format din litera M, urmată de un număr care reprezintă diametrul la exteriorul filetului în milimetri, de exemplu M 20. Șuruburile pentru construcții au, în general, țija neprelucrată, așa cum rezultă din confecționare; diametrul exterior al filetului este egal cu diametrul exterior al filetului; diametrul găurii se ia cu 1—2 mm mai mare decît diametrul șurubului. Pentru unele prinderi se confecționează șuruburi cu țija și fața dinspre

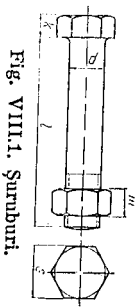


Fig. VIII.1. Șuruburi.

țijă a capului prelucrate fin sau mediu; în acest caz diametrul exterior al țije este ceva mai mare decît diametrul exterior al filetului. Aceste șuruburi se introduc în găuri alezate, între diametrul țije și al găurii fiind o diferență de aproximativ 0,3 mm.

Șabele așezate sub piuliță au fețele prelucrate și diametrul găurii cu 1,5—2,0 mm mai mare decît diametrul șurubului. Pentru îmbinările cu șuruburi ale profilelor U și dublu T se folosesc șabe speciale, cu una din fețe înclinată, corespunzător

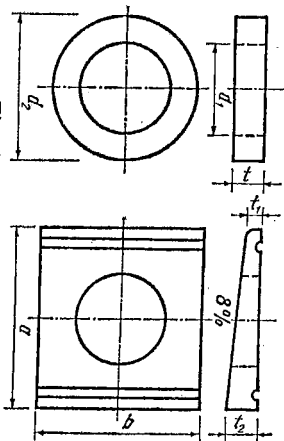


Fig. VIII.2. Șabe.

Materialul din care se confecționează șuruburile trebuie să aibă calitățile necesare pentru a se executa îmbinări cu rezistențe corespunzătoare rezistenței pieselor. Pentru construcții din OL 37 se confecționează șuruburi din OL 37 sau OLC 16, iar pentru construcții din oțeluri slab aliate se folosesc șuruburi din OL 50, OLC 35 sau din oțeluri slab aliate.

Diametrul șuruburilor se alege după aceeași principiu ca și diametrul nitului; lungimea de strîns a șuruburilor poate fi însă mai mare decît a niturilor; șuruburile se folosesc în locul niturilor, cînd lungimile de strîns sînt mari. În acest caz se folosesc șuruburi cu țija prelucrată sau, la construcții cu solicitări importante, șuruburi cu țija tronconică, avînd înclinarea de 1 : 100; găurile se alezează tronconic, cu aceeași înclinare. Se pot folosi în asemenea cazuri și șuruburi cu piulițe la ambele capete, dacă lungimea de strîns este mare.

Așezarea șuruburilor și distanțele între ele și la marginea pieselor sînt ca la nituri; distanța minimă între șuruburi este preferabil să fie ceva mai mare, 3,5 d sau chiar 4 d , pentru a se putea executa ușor strîngerea.

La prinderea cu șuruburi este necesar în anumite cazuri să se ia măsuri pentru împiedicarea deșurubării piuliței; astfel de măsuri sînt obligatorii în cazul construcțiilor supuse la solicitări dinamice. Asigurarea piuliței se face cu piulițe duble, cu șplint, sau cu rondele resort (fig. VIII.3).

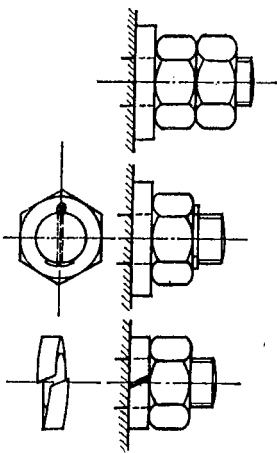


Fig. VIII.3. Asigurarea piuliței.

b. Șuruburi pentru construcții din aliaje de aluminiu

Șuruburile se folosesc la construcțiile din aliaje de aluminiu după aceleași reguli ca și la construcțiile din oțel. Se fabrică șuruburi din aliaje de aluminiu și din oțel. La folosirea șuruburilor din aliaje de aluminiu trebuie evitat să se formeze curenți galvanici, ca urmare a diferențelor de compoziție chimică între materialul șuruburilor și materialul pieselor, care produc coroziuni. Tița șuruburilor, înainte de a se introduce în gaură, este recomandabil să se ungă cu lubrifiant, pentru a se evita griparea la stringere, mai ales dacă jocul între tițe și pereții găurii este mic; de asemenea filetul se acoperă cu lubrifiant sau grafit.

Șuruburile din oțel trebuie acoperite cu un strat de zinc sau cadmiu, pentru a se evita contactul direct între oțel și aluminiu.

c. Șuruburi de înaltă rezistență

La construcțiile metalice se folosesc azi pentru unele îmbinări șuruburi de înaltă rezistență, cărora, după montare, li se introduce eforturi de întindere în tițe. Șuruburile confecționate din oțeluri cu rezistențe mari sînt strînse astfel ca în tițe să se dezvolte un efort de întindere suficient ca piesele să nu se mai poată deplasa între ele, ca urmare a frecării ce se dezvoltă pe fețele în contact.

Șuruburile de înaltă rezistență se fac din oțeluri aliate sau din oțel carbon de calitate. În tehnica folosirii șuruburilor de înaltă rezistență sînt adoptate unele măsuri diferite; în unele țări se folosesc șuruburi cu rezistențe de rupere relativ mari $\sigma_r \geq 100 \text{ daN/mm}^2$ și cu limita de curgere mai joasă (circa $0,75 \sigma_r$), iar în altele se preferă șuruburi cu rezistențe de rupere mari, peste 100 daN/mm^2 și limită de curgere apropiată de rezistența de rupere, aproximativ $\sigma_c = 0,85 \sigma_r$. Alte caracteristici impuse $R_g \geq 12\%$, reziliența la $+20^\circ\text{C}$, $KU \geq 8 \text{ daJ/cm}^2$ și duritatea HB între 260 și 300; pentru șuruburi din diferite oțeluri, aceste caracteristici au unele diferențe.

Șuruburile de înaltă rezistență au forma și dimensiunile șuruburilor normale, cu unele prevederi de prelucrare; tița este prelucrată normal, iar filetul este realizat prin rolare. Racordarea între tiță și cap se face cu o rază de $1,5-2 \text{ mm}$. Se cere o prelucrare mai bună a feței interioare a capului și a

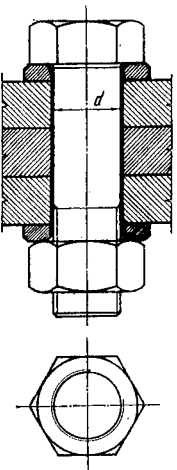


Fig. VIII.4. Șurub de înaltă rezistență.

Șuruburile de înaltă rezistență au forma și dimensiunile șuruburilor normale, cu unele prevederi de prelucrare; tița este prelucrată normal, iar filetul este realizat prin rolare. Racordarea între tiță și cap se face cu o rază de $1,5-2 \text{ mm}$. Se cere o prelucrare mai bună a feței interioare a capului și a piuliței, în scopul reparării cât mai uniforme a presiunilor. Sub cap și piuliță, la montaj, se așază șabze (fig. VIII.4). Piulițele și șabzele se fac, în general, din același material ca și șuruburile; se urmărește ca în final, după aplicarea tratamentelor termice, piulițele să rezulte cu o rezisten-

ță ceva mai mică, cu aproximativ 5%, decît aceea a șuruburilor, iar șabzele cu o duritate mai ridicată (cu circa 30%), pentru a se evita griparea suprafețelor de contact la stringerea piulițelor.

Așezarea șuruburilor de înaltă rezistență și distanțele între șuruburi și la margine sînt ca la șuruburile obișnuite. Găurile sînt executate obișnuit și au diametrul cu $1-2 \text{ mm}$ mai mare ca al tiței. Înainte de executarea îmbinărilor, fețele pieselor în contact se curăță de murdărie, de vopsea, de grăsimi și de rugină. Unele prescripții cer o curățire foarte îngrijită, prin sablare sau cu flacăra oxiacetilenică; altele admit o curățire de murdărie și îndepărtarea ruginii prin frecare cu peria de sîrmă. Se va evita lustruirea suprafețelor de contact. Experiințele arată că în general este suficientă o curățire normală.

2. COMPORTAREA ÎMBINĂRIILOR CU ȘURUBURI

Oricare ar fi tipul șuruburilor folosite, acestea se string la montaj astfel încît în tițe să se dezvolte un efort de întindere; stringerea cu chei de mînă, bine făcută, poate duce la eforturi de întindere în tița șuruburilor de $400-800 \text{ daN/cm}^2$, care asigură o bună alipire a pieselor. Îmbinările cu șuruburi obișnuite se deplasează repede, eforturile învingînd frecările, astfel că șuruburile lucrează prin contactul tiței cu pereții găurii. În cazul șuruburilor obișnuite, diametrul găurilor fiind mai mare decît al tiței, se produc deplasări mari și o repartizare neuniformă a solicitărilor între șuruburile îmbinate. Folosirea șuruburilor brute la îmbinări care lucrează prin forfecare nu este indicată. Șuruburile cu tița prelucrată, din cauza diferenței mici între diametrul găurii și al tiței și datorită prelucrării mai îngrijite a tiței și a găurii, se comportă la forfecare ca și niururile. În schimb, șuruburile de orice categorie suportă bine solicitări de întindere în tițe.

Într-o îmbinare șuruburile pot fi solicitate la întindere în tițe, la forfecare a tiței și la presiune pe pereții tiței. Determinarea acestor solicitări se face ca și la niururi.

În cazul îmbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență, comportarea este cu totul diferită. Datorită pretensiunii tiței, între fețele în contact apar eforturi de compresie mari pe o zonă carece în jurul tiței (fig. VIII.5). Ca urmare, oricărei acțiuni de deplasare, se opun forțele de frecare care se dezvoltă între fețele pieselor. Îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență au o comportare elastică, cu deformații mici, care se mențin pînă la valori mari ale eforturilor; modul de comportare

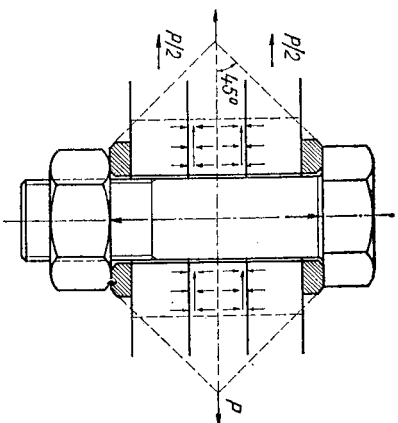


Fig. VIII.5. Efectul pretensionării.

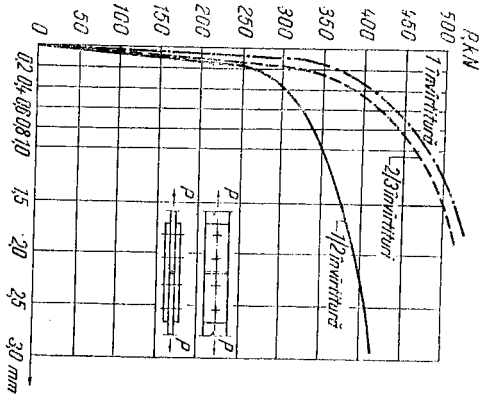


Fig. VIII.6. Deformațiile îmbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență.

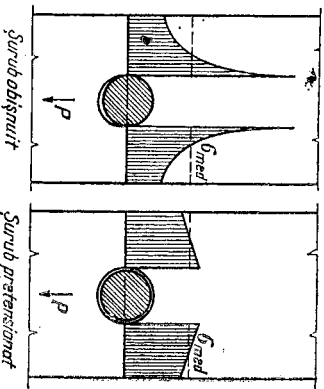


Fig. VIII.7. Repartizarea eforturilor.

al îmbinării nu se deosebește practic, din punct de vedere al deformațiilor, de modul de lucru al pieselor în afara îmbinării (fig. VIII.6).

În îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență, repartizarea eforturilor este mai uniformă și concentrările de eforturi sunt atenuate, ceea ce face ca aceste îmbinări să se comporte mult mai bine decât îmbinările nituite și cele sudate, atât la solicitări statice, cât și la solicitări dinamice (fig. VIII.7). Datorită modului de comportare, în unele țări se admite combinarea șuruburilor de înaltă rezistență și a sudurii în aceeași îmbinare, experiențele confirmând că se încarcă sub eforturi atât partea de îmbinare cu șuruburi cât și cea sudată.

La șuruburile de înaltă rezistență nu sunt necesare măsuri de siguranță pentru a împiedica deșurubarea piuliței; aceasta este asigurată prin forțele de frecare mari care apar între piuliță și șabă.

3. CALCULUL ȘURUBURILOR

Determinarea eforturilor în șuruburi se face în același mod ca și la îmbinările nituite. Rezistența de calcul la forțarea țigii șuruburilor obișnuite, care se introduce în găuri largi, se poate lua $0,7 R$, iar presiunea pe pereții găurii $1,7 R$, în care R este rezistența de calcul a materialului din care este confecționat șurubul; în cazul șuruburilor cu țija preluorată care se introduce în găuri mai mari cu cel mult $0,3$ mm decât țija șurubului, se iau rezistențe de

calcul ca la nituri, adică $R = 0,8 R$ și $R_g = 2,0 R \dots 2,5 R$. Șuruburile, oricare ar fi tipul lor, transmit bine eforturi de întindere în țigă; pentru a se ține seama de influența filetlui asupra comportării materialului, rezistența de calcul la întindere în țigă se ia $0,8 R$.

Relațiile de calcul, N fiind efortul de calcul la întindere în țigă și T efortul de calcul la forțare, provenite din modul de solicitare al îmbinării pentru șurubul cel mai solicitat, sînt:

$$\text{— întindere în țigă} \quad \sigma = \frac{N}{A_n} \leq 0,8 R; \quad (\text{VIII.1})$$

în care A_n este aria secțiunii la fundul filetlui;

$$\text{— șuruburi obișnuite}$$

$$\text{forțare în zona nefiletată} \quad \tau = \frac{T}{A} \leq 0,7 R \text{ și} \quad (\text{VIII.2})$$

$$\text{forțare în zona filetată} \quad \tau = \frac{T}{A_n} \leq 0,7 R; \quad (\text{VIII.3})$$

— șuruburi preluorate, cu contact mai bun între țigă și pereții găurii:

$$\text{forțare în zona nefiletată} \quad \tau = \frac{T}{A} \leq 0,8 R \text{ și} \quad (\text{VIII.4})$$

$$\text{forțare în zona filetată} \quad \tau = \frac{T}{A_n} \leq 0,8 R. \quad (\text{VIII.5})$$

În aceste relații A este suma ariilor secțiunilor de forțare în porțiunea nefiletată a țigii și A_n în porțiunea filetată. Forțarea țigii șuruburilor în țigă se nu ajungă în zona de forțare.

Deosebit de aceste verificări se face și verificarea cu relația:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R. \quad (\text{VIII.6})$$

Verificarea la presiunea pe pereții țigii se face cu relațiile:

$$\text{— șuruburi obișnuite} \quad \sigma = \frac{T}{dt} \leq 1,70 R \text{ și} \quad (\text{VIII.7})$$

$$\text{— șuruburi preluorate} \quad \sigma = \frac{T}{dt} \leq 2,5 R. \quad (\text{VIII.8})$$

În aceste relații t este lungimea porțiunii țigii (grosimea pachetului care aluneacă), pe care se exercită presiunea în direcția de solicitare.

Îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență se verifică considerînd că solicitările se transmit prin frecarea dintre fețele în contact ale pieselor care se prind. Dacă N este efortul de preîntindere care acționează în lungul țigii

șurubului, efortul care poate fi transmis printr-un șurub și o suprafață de alunecare este

$$N_s = fN_t \quad (\text{VIII.9})$$

În care f este coeficientul de frecare care se poate lua 0,45 pentru piese din OL 37 și 0,55 pentru piese din oțel slab aliat, fețele în contact fiind bine curățate de murdărie, rugină etc.

Numeroase experiențe au arătat că se poate atinge limita de curgere în materialul țigii, fără nici un inconvenient. În timpul strîngerii piuliței, în țija șurubului, pe lângă efortul axial, se dezvoltă și un moment de răsucire; experiențele arată că valoarea acestui moment de răsucire, la sfîrșitul operației de strîngere, este aproximativ 60% din valoarea momentului de strîngere. Între momentul de strîngere M și efortul axial N_t există o relație de forma

$$M \approx 0,20 d N_t \quad (\text{VIII.10})$$

Ca urmare, în țija șurubului apar eforturile unitare $\sigma = 4 N_t / \pi d^2$ și $\tau = 0,6 M_t / I_t$; efortul unitar echivalent este

$$\sigma_{\text{eqv}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (\text{VIII.11})$$

Înlocuind pe σ și τ , rezultă $\sigma_{\text{eqv}} \approx 1,28 \sigma$. La limită se poate considera că în țija șurubului se dezvoltă efortul de întindere

$$N_t = \frac{A_n \sigma_c}{1,28} \approx 0,8 A_n \sigma_c \quad (\text{VIII.12})$$

în care A_n este aria secțiunii șurubului la fundul filetelui și σ_c limita de curgere a materialului țigii după tratamentul termic.

Dacă T este efortul perpendicular pe țija unui șurub și n numărul platurilor de alunecare, trebuie ca

$$T \leq n N_s \quad (\text{VIII.13})$$

În cazul cînd șurubul este supus și la o sollicitare de întindere în țija Z , din acțiuni exterioare, valoarea efortului N_s devine

$$N_s = f(N_t - Z) \quad (\text{VIII.14})$$

Valoarea sollicitării Z este recomandabil să fie cel mult $0,8 N_t$.

În cazul cînd din diferite motive s-ar putea produce o alunecare în îmbinare, șuruburile ar lucrea la forțecare și presiune pe pereții găurii. Verificarea la forțecare nu este necesară, avînd în vedere rezistența superioară a oțelului țigii; pentru presiunea pe pereții găurii se poate lua, dacă $Z = 0$, $R_p = 4\sigma_c$ iar dacă $Z = 0,8 N_t$, $R_p = 2,5\sigma_c$; pentru valori intermediare se interpolează linear.

Dacă se aplică la verificare metoda rezistențelor admisibile, valoarea efortului N_s , cu care se face verificarea, devine

$$\frac{N_s}{e} \quad (\text{VIII.15})$$

în care e este coeficientul de siguranță egal cu 1,25 în gruparea I și 1,40 în gruparea a II-a, sollicitările fiind statice și 1,50 respectiv 1,40, cînd sollicitările sînt variabile.

4. CONTROLUL CALITĂȚII ÎMBINĂRIILOR CU ȘURUBURI

Îmbinările cu șuruburi obișnuite au cel puțin la partea capului cu piuliță o șabă, așezată sub piuliță; aceasta asigură o mai bună repartizare a eforturilor sub piuliță și permite ca partea filetată să nu pătrundă în gaura piesei.

Șuruburile trebuie strînse bine; o strîngere este bună cînd în țija apar eforturi unitare de întindere asemănător ca la niturile bătute la cald, adică 400 — 800 daN/cm².

La elementele supuse vibrațiilor sau unor sollicitări variabile, piulițele trebuie asigurate contra deșurubării.

Un control atent și bine organizat este deosebi necesar la îmbinările cu șuruburi de înaltă rezistență; buna comportare a îmbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență depinde în mare măsură de buna calitate a execuției îmbinărilor.

Piesele care se îmbină cu șuruburi de înaltă rezistență la rosturi trebuie să fie în continuare și fără deformații care ar împiedica așezarea și contactul între ecișe și piese, contact care, după prețensionarea țigii șurubului, să permită dezvoltarea forțelor de frecare care se opun deplasării. În acest scop trebuie să se respecte instrucțiunile tehnice referitoare la tehnologia execuției unor astfel de îmbinări și la toleranțele admise. După strîngerea șuruburilor cu cheia de mînă, prealabilă începerii prețensionării țigii șuruburilor de înaltă rezistență, lama unui spion de 0,2 mm și de 0,1 mm după strîngerea definitivă, nu trebuie să pătrundă pe o adîncime mai mare ca 20 mm de la marginea pieselor sau în jurul șuruburilor pe o rază egală cu diametrul șuruburilor.

Fețele pieselor care se îmbină se curăță în prealabil de murdărie, de unsoare, rugină, tîmder; curățarea se face cu substanțe degresante și apoi cu flacăra oxidicilenică sau prin sablare; în final, se îndepărtează resturile rămase pe fețele curățate cu o perie de sîrmă, evitîndu-se lustruirea fețelor. În funcție de condițiile mediului, montarea îmbinării trebuie făcută la 4 până la 6 ore după curățare.

Strîngerea șuruburilor îmbinării pentru realizarea în țija a efortului de întindere N_t prescrisă, începe după ce în prealabil s-a făcut o strîngere a piulițelor cu cheia de mînă în scopul așezării și realizării contactului dintre piesele îmbinării. Strîngerea pentru prețensionare se face în general în două

etape, pentru a se evita deformarea ecliselor și se începe de la mijlocul imbinării spre margini.

Între efortul de întindere din tijă N_1 și momentul de strângere M există relația aproximativă

$$M = k d N_1,$$

(VIII.16)

Valoarea coeficientului k se ia în general 0,2; este de observat că valoarea acestui coeficient se poate modifica mult în funcție de starea șuruburilor, a abaterilor de execuție și montaj; în cazul când s-ar produce o gripare a piulițelor, valoarea momentului poate rezulta mare, fără ca valoarea efortului N_1 să fie atinsă.

Stringerea piulițelor se poate face cu chei dinamometrice, care dau valoarea momentului de strângere M , sau prin măsurarea rotirii piuliței.

Pentru imbinări obișnuite, rotirea piuliței pentru asigurarea efortului N_1 poate varia în general între 90° și 180° ; valoarea unghiului este influențată să se verifice în prealabil valoarea acestei rotiri. Pentru a se măsura rotirea se fac, înainte de începerea stringerii pentru prefensionare, semne pe piuliță și piesă.

Controlul execuției imbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență se face pe parcurs, începând de la operația de curățare a pieselor, asamblare, strângere până la stringerea definitivă. Pentru verificarea stringerii finale, se poate face prin sondaj în fiecare imbinare un control la un număr oarecare de șuruburi; o încercare de rotire a piuliței cu o cheie dinamometrică va măsura valoarea momentului la care s-a făcut stringerea finală.

O altă verificare necesară privește măsurile ce trebuie luate pentru a se împiedica pătrunderea umezeții la țigele șuruburilor și între piesele în contact; ruginesc ușor atât piesele, care sînt lipsite de o protecție anticorozivă, cit și partea filetată a țigelor șuruburilor.

Pentru evitarea acestei situații este necesar:

— să se închidă cu chituri cu miniu de plumb sau alte produse elastice și durabile rosturile dintre eclise și elementele imbinate; o grijă deosebită trebuie dată zonei rostului pieselor imbinate;

— să se evite folosirea, fără măsuri speciale contra coroziunii, a imbinărilor cu șuruburi de înaltă rezistență în locurile unde există medii umede și puternic corosive.

IX. ELEMENTE SOLICITATE LA ÎNTINDERE

1. ALCĂȚURILE SECȚIUNII BARELOR

Alcățuirea secțiunilor barelor întinse este influențată de o serie de elemente: valoarea solicitărilor, modul de imbinare, natura construcției din care face parte bara etc.; secțiunile barelor trebuie să fie simetrice în raport cu planul de simetrie al sistemului din care face parte; se va urmări ca înădrițele eventuale și prinderile barei la capete să se poată realiza cu ușurință. Secțiunile barelor pot fi realizate dintr-un singur profil laminat; când sînt necesare secțiuni mai mari sau forme care nu se obțin prin laminare, bara se alcățuiește din 2—3 elemente, asamblate prin sudură (fig. IX.1).

În cazul unor construcții solicitate puternic formele simple de secțiuni nu mai sînt suficiente; se alcătuiesc bare cu secțiuni din elementele depărtate sau dezvoltate în raport cu ambele axe de inerție (fig. IX.2).

Possibilitățile de alcățuire a secțiunilor prin sudură sînt foarte mari, deoarece sudura simplifică legăturile și prinderea barelor între ele.

La alcățuirea secțiunilor compuse trebuie urmărit ca sudura să se execute ușor, de preferință prin mijloace automate, și să nu deformeze mult barele.

Secțiunile tubulare sînt avantajoase; pentru a se evita coroziunea la interior, care, dacă barele se închid, se dezvoltă destul de încet, este recomandat să se vopsireze interiorului cu miniu de plumb, înainte de închidere.

În cazul construcțiilor întinse, prinderea între ele a părților secțiunii barei și prinderea barelor la capete cer forme caracteristice acestui mod de imbinare (fig. IX.3).

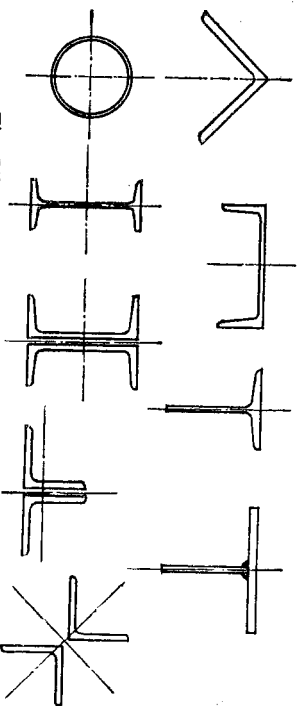


Fig. IX.1. Secțiuni simple pentru bare sudate.

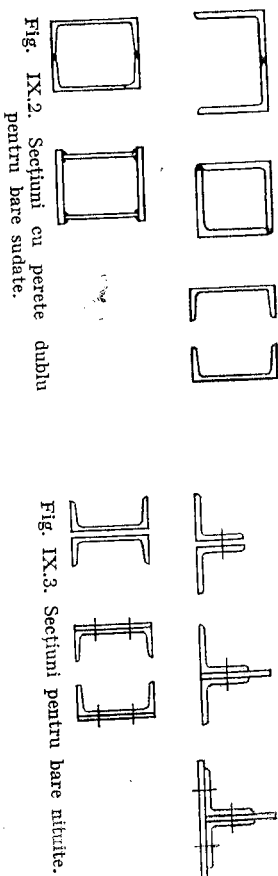


Fig. IX.2. Secțiuni cu pereți dubli pentru bare sudate.

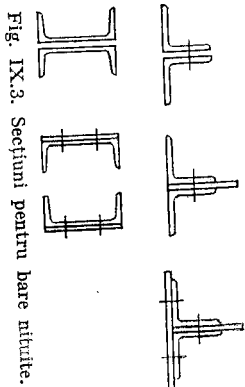


Fig. IX.3. Secțiuni pentru bare nituite.

Rigiditatea transversală a barelor întinse se ia astfel încît să se asigure barele împotriva oscilațiilor sau vibrațiilor produse de unele solicitări dinamice. Normele noastre cer ca pentru construcții supuse la solicitări dinamice, să se verifice coeficientul de zvelteță al barei numai în plan vertical; coeficientul de zvelteță λ trebuie să fie mai mic decît 400. Pentru construcții supuse la solicitări dinamice coeficientul de zvelteță se limitează la ambele planuri și se ia mai mic, în funcție de importanța barei în ansamblul constructiv, putînd cobori la 250 și chiar la 150 în unele cazuri.

2. SOLIDARIZAREA BARELOR ÎNTINSE

Barele pot fi alcătuite din elemente așezate unele lângă altele, lipit, la distanțe mici sau la distanțe mai mari. Solidarizarea are scopul să lege elementele secțiunii între ele, astfel încît bara să se comporte ca și cînd ar fi alcătuită dintr-un singur element; solidarizarea uniformizează repartizarea eforturilor între diferite părți ale secțiunii compuse.

La secțiunile din elemente alăturate prinderile de solidarizare trebuie să țină marginea pieselor suficient de apropiate și bine strînse pentru a nu pătrunde unezeala între piese. În cazul solidarizării cu sudură, dacă sudurile

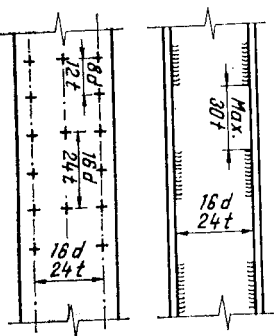


Fig. IX.4. Distanțe de solidarizare.

sînt întrerupte, distanța între suduri nu poate fi mai mare decît $30t$; în sens transversal direcției efortului, distanța între cordoanele de sudură va fi de cel mult $25t$. La piesele nituite distanțele pe șirurile de margine nu pot fi peste $8d$ sau $12t$; această distanță se mărește în cazul cînd marginea este întărită cu corniere care țin mai bine strînse piesele, la $16d$, sau $24t$. Pe șirurile interioare, în direcția eforturilor și transversal, distanțele între nituri pot fi mărite de asemenea la $16d$ sau $24t$ (fig. IX.4).

Distanțele între niturile de solidarizare este recomandabil să se ia cît mai apropiate de cele maxime și uniforme pe aceeași piesă, pentru a se ușura trasarea și executia.

La secțiuni din elemente puțin depărtate, solidarizarea se face cu ajutorul unor fururi, așezate din distanță în distanță.

Între piese este necesar să rămîină un spațiu cel puțin cu $h/6$ sau 10 mm (fig. IX.5) pentru a se putea vopsi fețele interioare; la construcțiile din industria chimică intervalul va fi cel puțin $h/3$. Dacă nu se poate asigura intervalul necesar vopsirii, spațiul dintre piese trebuie umplut cu o furură generală; soluția este dezavantajoasă din punct de vedere al consumului și nu trebuie folosită decît rar și pe zone reduse.

La construcțiile sudate fururile izolate se sudează pe margini, între piese sau se scot puțin în afară; la cele nituite fiecare furură se prinde cu două nituri, pentru a se evita rotirea. Distanța între axele fururilor se ia cel mult $80t$, în care t este raza de inerție a unui element în raport cu axa principală paralelă cu planul în care se așază fururile (fig. IX.6).

La piesele alcătuite din elemente depărtate, solidarizarea se face în general prin legarea elementelor între ele cu plăcuțele sau cu zăbrelele (fig. IX.7). Piesele sudate se prind ca în fig. IX.7, a sau b. La piesele nituite, plăcuțele se prind cel puțin cu două nituri de fiecare parte a plăcuței, pentru a se evita jocurile. Distanța între axele plăcuțelor se ia cel mult $80t$, t fiind raza de inerție a unui element în raport cu axa $I-I$ din figură.

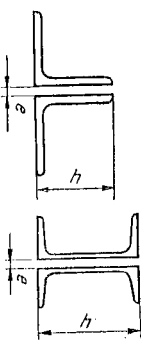


Fig. IX.5. Interval minim între elementele secțiunii.

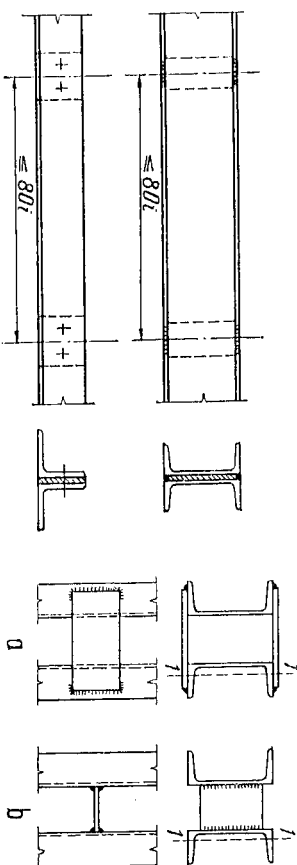


Fig. IX.6. Solidarizarea pieselor puțin depărtate.

Fig. IX.7. Solidarizarea pieselor depărtate.

3. CALCULUL BARELOR SUPUSE LA ÎNTINDERE AXIALĂ

Elementele supuse la întindere axială se verifică cu relația

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq R \quad (IX.1)$$

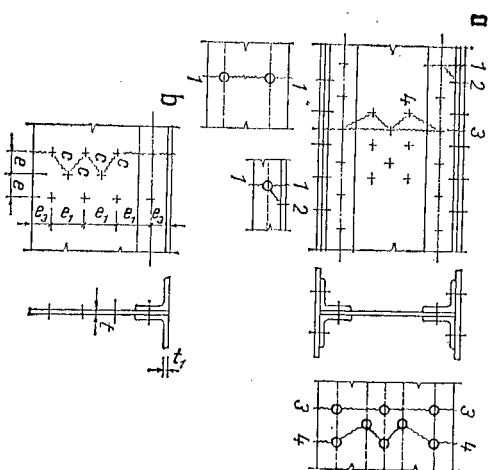


Fig. IX.8. Ruperi normale și sinuoase.

calcula, aria secțiunii nete. Astfel, pentru bara din fig. IX.8, b aria secțiunii nete este

$$A_n = (2e_2 + e_1 + 4e - 6d)t + 2A_c - 2dt_1 \quad (\text{IX.3})$$

în care A_c este secțiunea normală și t_1 grosimea cornierei.

Dimensiunea c se poate calcula cu distanțele dintre nituri. În cazul unor profile, de exemplu în corniere, dacă ruperea sinuoasă trece prin nituri situate pe cele două aripi, se poate calcula lungimea ruperii sinuoase prin rabaterea unei aripi în planul celeilalte (fig. IX.9).

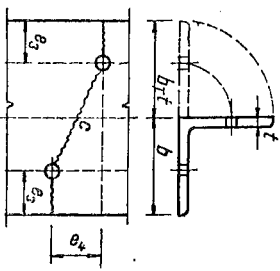
La barele alcătuite din mai multe elemente, solidarizate între ele, ruperea barei se poate produce prin ruperea fiecărui element în parte în secțiuni situate la o oarecare distanță între ele, dacă nu sînt separate prin multe nituri de solidarizare, care ar trece eforturile de la un element la altul.

Pentru calculele preliminare se poate lua $A_n = 0,85 A_b$.

În cazul barelor întinse, prinse cu șuruburi de înaltă rezistență, verificarea se face la efortul de întindere N din bară cu secțiunea brută; este necesară, în unele situații, și o verificare cu aria netă a secțiunii considerate la efortul

$$N \left(1 - \frac{r}{n} - 0,40 \frac{n_1}{n} \right) \quad (\text{IX.4})$$

Fig. IX.9. Rupere sinuoasă la o cornieră.



în care: n este numărul total al șuruburilor din prindere;
 r — numărul șuruburilor între începutul prinderii și secțiunea care se verifică;

n_1 — numărul șuruburilor din secțiunea verificată.

Barele întinse supuse la solicitări variabile se verifică cu relația

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \gamma_0 R, \quad (\text{IX.5})$$

efortul axial N fiind determinat fără coeficienți de impact.

La gruparea acțiunilor se va ține seama de situația cea mai defavorabilă pentru oboseala materialului.

X. ELEMENTE SOLICITATE LA COMPRESIUNE AXIALA

1. ALCĂȚURIREA SECȚIUNII BARELOR

Barele supuse la compresiune axială au în general forme de secțiuni determinate de condițiile de stabilitate, de funcționarea pe care bara o are în sistemul constructiv, de importanța solicitărilor. În general, la barele compri- mate materialul trebuie repartizat în secțiune astfel încât bara să prezinte o rigiditate cât mai mare, pentru a avea o comportare cât mai bună la stabi- litate. Se asigură această condiție, când pentru o aceeași arie A se obține o rază de inerție i cât mai mare. La construcțiile cu zăbrele, unde predomină solicitarea axială, se adoptă forme de secțiuni ca cele din fig. X.1 pentru construcții sudate și ca cele din fig. X.2 pentru construcții nituite.

Dezvoltarea secțiunilor se face corespunzător pericoului pe care-l prezintă pentru bară pierderea stabilității; în cazul unor solicitări mari axiale și în condiții de stabilitate practice egale în orice direcție se adoptă secțiuni dezvoltate după cele două axe principale ale secțiunii.

Pentru stâlpi, formele secțiunilor, în general, sînt cele arătate în fig. X.3; în cazul unor solicitări axiale de compresiune sînt utilizate forme dezvoltate egal după cele două direcții principale.

La construcțiile din aliaje de aluminiu se utilizează în general aceleași forme și alcături ca și la construcțiile din oțel; se are însă în vedere că defor- mățiile și pericoul de pierdere a stabilității generale și locale sînt mult mai

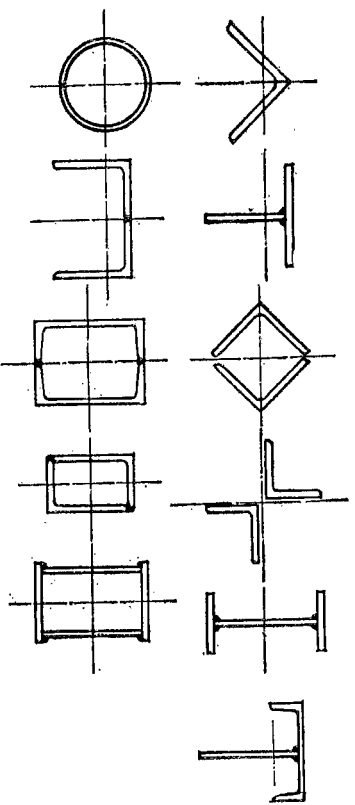


Fig. X.1. Secțiuni pentru bare comprimate sudate.

accentuate la piesele din acest material decît la cele din oțel. Se folosesc pro- file cu margini întărite, închise sau deschise, cu o axă de simetrie (fig. X.4).

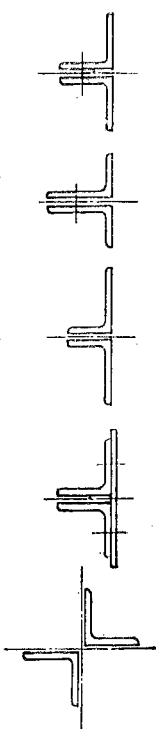


Fig. X.2. Secțiuni pentru bare comprimate nituite.

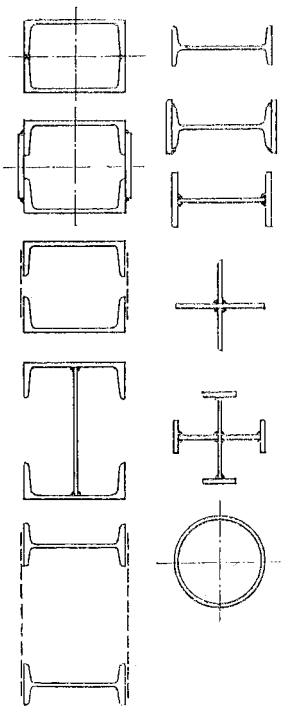


Fig. X.3. Secțiuni pentru stâlpi.

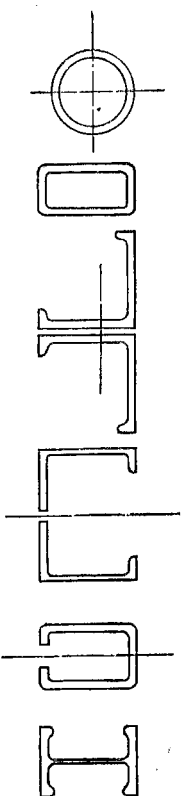


Fig. X.4. Secțiuni pentru bare comprimate din aliaje de aluminiu.

2. SOLIDARIZAREA BARELOR COMPRIMATE

Că și la barele întinse, secțiunile compuse se solidarizează astfel încît bara să se comporte ca și cînd ar fi alcătuită dintr-un singur element. Elemen- tele care compun secțiunea pot fi alcăturate, la distanță, mică sau la distanță mai mare, ceea ce impune și moduri de solidarizare diferite.

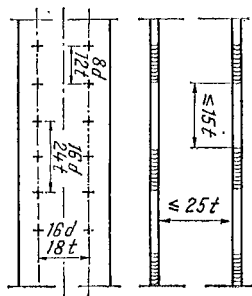


Fig. X.5. Distanțe de solidificare.

Bare din elemente alăturate. Acestea se prind între ele cu sudură continuă sau discontinuă, sau cu nituri. Intervalele la sudurile discontinue și la nituri sînt cele din fig. X.5. La îmbinările nituite, distanțele între nituri pe șirurile de margine se pot mări pînă al valorile date pentru șirurile interioare, dacă marginile sînt întărite cu corniere.

Bare din elemente puțin depărtate. Acestea se solidarizează în același mod ca și cele întinse; distanța între fururi fiind însă mai mică, cel mult 50 t ; raza de inerție se ia în raport cu axa proprie paralelă cu planul fururilor. Pe lungimea unei bare comprimate se așază cel puțin două fururi.

$$i_x = i_0/1,45 \quad (\text{X.4})$$

În cazul unor bare din corniere cu aripi neegale așezate ca în fig. X.6, raza de inerție în raport cu axa $x-x$ se poate lua

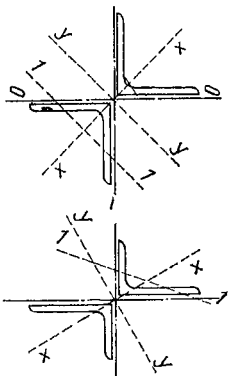


Fig. X.6. Elementele secțiunii.

în care i_0 este raza de inerție a secțiunii în raport cu axa $0-0$.

Bare din elemente depărtate. Se solidarizează cu plăci continue, cu plăcuțe sau zăbreliuțe (fig. X.7).

Solidarizarea cu plăci continue, pline sau cu goluri, se folosește în general cînd și plăcuțele intră în alcătuirea secțiunii, cel puțin pentru calculul la flambaj.

Solidarizarea cu plăcuțe trebuie să asigure stabilitatea barei întregi și a fiecărei ramuri în mod separat. La capetele barei, cînd aceasta nu este legată de alte bare, se prevăd plăci pe o parte și alta, prinite prin sudură sau nituri. Pe lungul barei plăcuțele au în general secțiuni identice și se așază astfel încît lungimea de flambaj a unei ramuri l să fie mai mică decît 50 t ; pe lungimea barei, între capete, se vor așeza cel puțin două plăcuțe. Raza de inerție i_x este raza de inerție a unui element și se ia în raport cu axa proprie $1-1$ a elementului (fig. X.8).

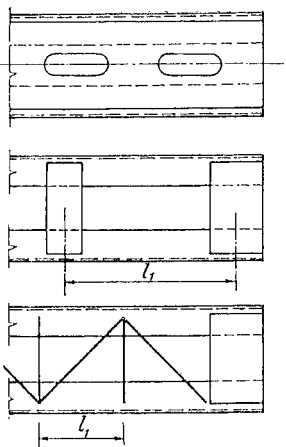


Fig. X.7. Solidarizarea barelor din elemente depărtate.

Lățimea plăcuțelor intermediare b_p se ia de regulă 0,5—0,8 b , la construcții sudate și 0,7—1,0 b , la construcții nituite, θ fiind lățimea barei. Grosimea plăcuțelor se prevede de 6—10 mm. La prinderea plăcuțelor cu sudură, cordoanel de sudură se întorc puțin pe laturile plăcuțelor; prinderea cu nituri se face cu cel puțin două nituri la plăcuțele curente și cu cel puțin trei nituri la cele de capăt.

Ramurile este recomandabil să fie paralele și cu secțiune constantă.

Solidarizarea cu zăbreliuțe se realizează prin legarea ramurilor barei cu zăbrele în sistem triunghiular, dreptunghiular, trapezoidal sau mon-tași suplimentari etc. Zăbreliuțele, în general se prevăd din corniere, mai rar din profile U. Înclinarea zăbreliuțelor se ia în jurul a 45°. Este recomandabil ca λ_1 , coeficientul de zvelteță al ramurii, să fie mai mic decît al barei.

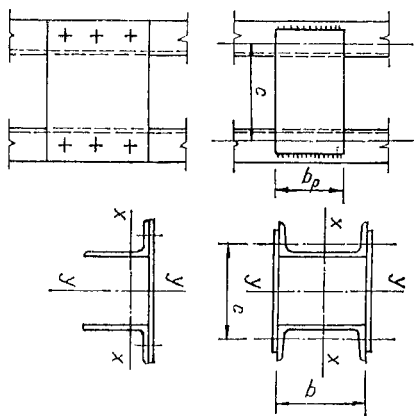


Fig. X.8. Solidarizarea cu plăcuțe.

3. CALCULUL BARELOR CU SECȚIUNE PLINĂ COMPRESATE AXIAL

a. Relații de calcul

Barele comprimate axial, după forma lor, își pot pierde stabilitatea în diferite moduri. O bară a cărei alcătuire este astfel încît centrul de greutate și centrul de răsunare se găsesc în planul în care se va produce flambajul își pierde stabilitatea la o anumită valoare a efortului axial N , prin flambaj prin încovoare; același fenomen se poate produce și cînd cele două centre nu coincid dacă sînt luate măsuri care să împiedice deformarea laterală a barei. Majoritatea elementelor folosite obișnuit în construcții, supuse la compresiune axială, îndeplinesc această condiție, cu unele excepții.

Verificarea stabilității barei, supusă la un efort axial N , aceluși pe tot lungul barei, se poate face cu relația

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_f \quad (\text{X.2})$$

în care: A este aria secțiunii brute;

σ_f este efortul unitar la care s-ar produce pierderea stabilității barei; înmulțind termenii al doilea din relația (X.2) la numărător și numitor cu σ_c se obține

$$\sigma = \frac{\sigma_f}{\sigma_c} \sigma_c. \quad (\text{X.3})$$

de unde rezultă

$$\varphi = \frac{\sigma_f}{\sigma_c} \quad (\text{X.4})$$

Relația (X.4) se scrie în general sub forma $\varphi = \frac{\sigma_f}{R}$ și relația de verificare

la flambaj devine

$$\frac{N}{\varphi A} \leq R \quad (\text{X.5})$$

în care φ este coeficientul de flambaj al barei, care se determină pe baza condițiilor de siguranță contra flambajului, în funcție de coeficientul de zvelteță λ al barei. Coeficientul de zvelteță λ este egal cu

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \quad (\text{X.6})$$

în care l_f este lungimea de flambaj a barei și i raza de inerție a secțiunii, corespunzătoare lunginii de flambaj; raza de inerție este

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{X.7})$$

în care I este momentul de inerție al secțiunii barei față de axa ce trece prin centrul de greutate al secțiunii și este perpendiculară pe planul de flambaj, iar A secțiunea brută a barei.

În general, lungimile de flambaj și razele de inerție sînt diferite pentru direcțiile în care se presupune că se produce flambajul; este suficient să se examineze flambajul după direcțiile principale ale secțiunii, deci sînt de analizat coeficienții de zvelteță λ_x și λ_y , în calculele luînd coeficientul φ cel mai mic care corespunde pentru λ_x sau λ_y .

În cazul cînd N variază în lungul barei se poate folosi aceeași relație de calcul (X.5), determinîndu-se φ pentru o lungime de flambaj corectată.

În general, lungimea de flambaj corectată este de forma

$$l_f = l \sqrt{\frac{1 + a_1 \frac{N_0}{N_1}}{a_2}} \quad (\text{X.8})$$

în care l este lungimea barei, N_0 și N_1 eforturile axiale minime și maxime pe lungul barei (fig. X.9), iar a_1 și a_2 coeficienți care depind de legăturile barei la capete și de modul de variație a efortului axial în lungul barei (v. tabelul 14, STAS 763/1-71).

În relația (X.5) se introduce valoarea maximă N_{11} .

Barele comprimate alcătuite din elemente puțin depărtate, solidarizate cu fururi, așezate la distanțe $l_1 \leq 50 l$, se calculează ca elemente cu secțiune plină; i este raza de inerție a unui element ce compune bara, în raport cu axa proprie paralelă cu fururile.

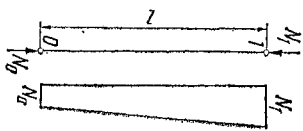


Fig. X.9. Eforturi variabile în lungul barei.

b. Eforturile unitare critice de flambaj

În studiul teoretic al flambajului se presupune că barele sînt perfect rectilinii, că materialul este omogen și că forțele sînt aplicate la capetele barei fără excentricități. În realitate, barele din construcții prezintă unele imperfecțiuni de formă și structură, iar forțele nu se aplică riguros centric. Diferite prescripții de calcul țin seama de aceste abateri de la ipoteza teoretică, admitînd o săgeată inițială, o excentricitate limitată sau le acoperă prin valori diferite ale coeficienților de siguranță; datorită modului diferit de a proceda, între prescripțiile din diferite țări apar diferențe sensibile.

În cele ce urmează se adoptă o metodă de verificare a stabilității unei bare comprimate axial, care constă în studierea echilibrului barei în starea deformată sub efectul acțiunilor exterioare, punînd condiția ca eforturile unitare să nu depășească în nici un punct limita de curgere (metoda Dutheil, folosită de prescripțiile franceze). Se ține seama de deformațiile pe care le are în momentul studierii echilibrului, de efectele compresiunii axiale în amplificarea deformațiilor care ar exista din curbura inițială și de neregularitățile de structură etc.

La o bară de lungime l cu secțiune constantă A , articulată la capete, avînd o curbură inițială cu săgeata f_0 supusă la capete la un efort axial de compresie, săgeata f a barei devine

$$f = f_0 \frac{\sigma_E}{\sigma_E - \sigma} \quad (\text{X.9})$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}.$$

unde

În domeniul elastic, efectele supraîncălzirii se, dacă săgeata inițială a barei este suma unor săgeți f_1, f_2 etc., provenite din cauze oarecare, săgeata finală, sub efectul forței axiale N , devine

$$(f_1 + f_2 + \dots) \frac{\sigma_E}{\sigma_E - \sigma}. \quad (\text{X.10})$$

Experiențele arată că o bară articulată la capete, de lungime l , chiar perfect rectilinie, sub acțiunea unei forțe de compresune axială N , capătă o oarecare curbură; ca urmare, într-o secțiune oarecare la distanța x se dezvoltă un moment $M = Nxy$ (fig. X.10), a cărui valoare este maximă la mijlocul barei, unde și săgeata este maximă.

Se pune deci problema de a determina săgeata maximă la mijlocul lungimii barei.

Se convine, pentru o bară perfect rectilinie, să se accepte expresia

$$f = a\sigma \frac{l}{\mu N_E} \cdot \frac{\sigma_E}{\sigma_E - (1+b)\sigma} \quad (\text{X.11})$$

în care:

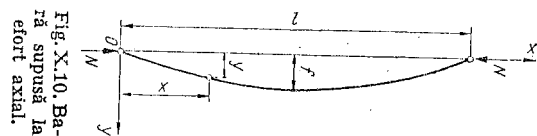


Fig. X.10. Bară supusă la efort axial.

N_E este forța critică de flambaj a lui Euler $N_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$;

l — lungimea de flambaj, egală în acest caz cu distanța între articulații

I — momentul de inerție minim al barei;

u — distanța de la fibra cea mai depărtată la axa neutră a secțiunii;

f — săgeata la mijlocul lungimii barei;

a și b sint constante particulare ale barei; b depinde de imperfecțiunile de structură, care au ca efect reducerea modului de elasticitate E al materialului, iar a acoperă alte imperfecțiuni ale barei (curbură, excentricități etc.).

Examinarea statistică a unui mare număr de rezultate experimentale, efectuate pe bare reale, arată că săgeata tinde către valoarea dată de expresia (X.11) când σ atinge valori ridicate și că nu poate fi depășită dacă se adoptă $a = b = 0,3$. Ca urmare, valoarea săgeții, care ține seama și de neregularitățile de structură ale barei, poate fi acceptată cu o siguranță bună conform expresiei

$$f_1 = 0,3 \sigma \frac{l}{\mu N_E} \cdot \frac{\sigma_E}{\sigma_E - 1,3 \sigma} \quad (\text{X.12})$$

Pentru valori $a = b = 4/12$ formula (X.11) dă valorile probabile ale săgeții f ; dacă valorile constantelor a și b sînt alese în funcție de o anumită probabilitate acceptată ca săgeata f_1 să nu fie depășită, se ajunge la alte valori ale săgeții de referință f_1 decît cele date de relația (X.12).

Pe baza considerațiilor de mai înainte se poate determina rezistența limită de flambaj σ_f și valoarea coeficientului de flambaj φ . Dacă se ține seama că $N_E = A \sigma_E$, săgeata f_1 se poate scrie:

$$f_1 = \frac{l}{\mu A} \frac{0,3 \sigma}{\sigma_E - 1,3 \sigma} \quad (\text{X.13})$$

În secțiunea de la mijlocul lungimii barei apare un moment

$$M = Nf_1 = \sigma A f_1 = \frac{0,3 \sigma^2}{\sigma_E - 1,3 \sigma} \cdot \frac{l}{\mu} \quad (\text{X.14})$$

Efortul unitar în fibra extremă din această secțiune va fi

$$\sigma_{max} = \sigma + \frac{M}{I} u = \sigma \frac{\sigma_E - \sigma}{\sigma_E - 1,3 \sigma} \quad (\text{X.15})$$

La limită $\sigma_{max} = \sigma_c$ și $\sigma = \sigma_f$ și relația (X.15) devine

$$\sigma_c = \sigma_f \frac{\sigma_E - \sigma_f}{\sigma_E - 1,3 \sigma_f} \quad (\text{X.16})$$

de unde

$$\sigma_f^2 - \sigma_f(\sigma_E + 1,3 \sigma_c) + \sigma_c \sigma_E = 0. \quad (\text{X.17})$$

Din această ecuație se scoate valoarea rezistenței critice de flambaj σ_f :

$$\sigma_f = 0,5(\sigma_E + 1,3 \sigma_c) - \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_E + 1,3 \sigma_c)^2 - \sigma_c \sigma_E} \quad (\text{X.18})$$

Ținînd seama că $\sigma_f = \varphi \sigma_c$, se obține din (X.17) o ecuație în φ .

$$\varphi^2 - \left(1,3 + \frac{\sigma_E}{\sigma_c}\right) \varphi + \frac{\sigma_E}{\sigma_c} = 0 \quad (\text{X.19})$$

de unde

$$\varphi = \left(0,65 + \frac{1,3 \sigma_E}{\sigma_c}\right) - \sqrt{\left(0,65 + \frac{1,3 \sigma_E}{\sigma_c}\right)^2 - \frac{\sigma_E}{\sigma_c}} \quad (\text{X.20})$$

În fig. X.11 este reprezentată variația coeficientului de flambaj φ în funcție de λ pentru OL 37 cu $\sigma_c = 24 \text{ daN/mm}^2$. În relațiile (X.18) și (X.20) σ_c poate fi înlocuit cu R .

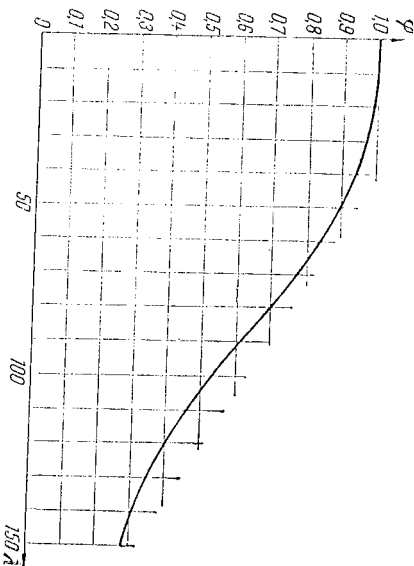


Fig. X.11. Variația coeficientului φ pentru oțel $\sigma_c = 24 \text{ daN/mm}^2$.

4. CALCULUL BARELOR CU SECȚIUNI COMPUSE COMPRESIMATE AXIAL

a. Influența forței tăietoare asupra rezistenței limită de flambaj

În cazul barelor alcătuite din elemente depărtate, solidarizate cu zăbrelețe sau plăcuțe, la determinarea rezistenței limită de flambaj este necesar să se țină seama și de deformările produse de forța tăietoare.

Pentru o bară articulată la capete cu lungimea l , comprimată axial, se poate admite că deformata barei este o sinusoidă a cărei expresie este

$$y = f \sin \frac{\pi x}{l} \quad (\text{X.21})$$

Într-un punct la distanța x de origine, deplasarea laterală y este egală cu suma deformațiilor produse de momentul M și de forța tăietoare T . La mijlocul lunginii barei săgeata f este egală cu săgeata f' , dată de momentul M_m de la mijlocul barei plus săgeata f'' , produsă de forța tăietoare T . Se știe că

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (\text{X.22})$$

sau la mijlocul lunginii de flambaj

$$\frac{M_m}{EI} = \frac{\pi^2}{l^2} f' \quad \text{deci } f' = \frac{M_m l^2}{\pi^2 EI} \quad (\text{X.23})$$

Forța tăietoare T este egală cu $\frac{dM}{dx}$; scriind relația cunoscută

$$\frac{dy}{dx} = \frac{kT}{GA_s} = \frac{k}{GA_s} \cdot \frac{dM}{dx} \quad (\text{X.24})$$

se obține

$$y = \frac{kM}{GA_s} \quad \text{sau } f'' = \frac{kM_m}{GA_s} \quad (\text{X.25})$$

În aceste relații A_s este aria secțiunii inimii barei. Săgeata totală la mijlocul lunginii barei este

$$f = f' + f'' = \frac{M_m l^2}{\pi^2 EI} + \frac{kM_m}{GA_s} = \frac{M_m l^2}{\pi^2 EI} \left(1 + \frac{k \pi^2 EI}{GA_s l^2} \right) \quad (\text{X.26})$$

Ținând seama că $I = A i^2$ și $\lambda = l/i$, A fiind aria secțiunii totale a barei, rezultă

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 EA} \left(\lambda^2 + \frac{k \pi^2 EA}{GA_s} \right) \quad (\text{X.27})$$

În cazul barelor cu inimă plină termenul al doilea din paranteză este neglijabil în raport cu λ^2 , astfel că se poate scrie

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 EA} \lambda^2 \quad (\text{X.28})$$

b. Bare solidarizate cu zăbrelețe

Coefficientul de zăbrelețe. În cazul unei bare alcătuite din elemente depărtate solidarizate cu zăbrelețe, având un număr suficient de mare de părți solidarizate cu zăbrelețe, mod de calcul ca la barele cu secțiune plină, determinând în locul secțiunii A_1 , o secțiune echivalentă A_e , astfel ca sub influența forței tăietoare, să se producă aceleași deformații ca și la bara cu secțiune plină.

Notând cu Δy deplasarea unui panou sub efectul forței tăietoare T se poate scrie

$$\Delta y = \frac{kTl_1}{GA_s} \quad (\text{X.29})$$

Valoarea secțiunii echivalente A_e va depinde de sistemul de zăbrelețe.

Pentru un sistem dreptunghiular (fig. X.12, a) se poate scrie

$$\Delta y = \delta_1 + \delta_2 \quad (\text{X.30})$$

$$\delta_1 = \frac{Tl_1}{A_s E} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} \quad \text{și } \delta_2 = \frac{Tc}{A_m E} \quad (\text{X.31})$$

sau

$$\Delta y = \frac{kTl_1}{GA_s} = \frac{T}{EA} \left(\frac{l_1}{A_s \sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{c}{A_m} \right) \quad (\text{X.32})$$

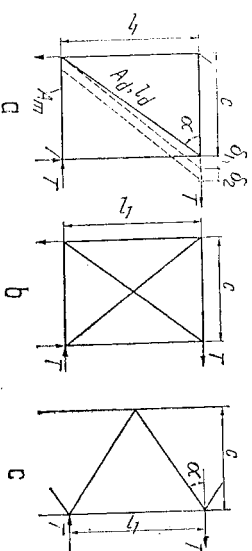


Fig. X.12. Deplasarea produsă de forța tăietoare la bare solidarizate cu zăbrelețe.

de unde

$$\begin{aligned} \frac{k}{A_d} &= \frac{G}{E} \left(\frac{1}{A_d \sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{c}{l_1 A_m} \right) = \\ &= \frac{G}{E} \left(\frac{1}{A_d \sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{\cos \alpha}{A_m \sin \alpha} \right). \end{aligned} \quad (\text{X.33})$$

În aceste relații A_d și A_m sînt ariile secțiunilor diagonalelor și montanților dintr-un panou.

Cu aceste elemente relația (X.27) devine

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 EA} \left[\lambda^2 + \pi^2 A \left(\frac{1}{A_d \sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{\cos \alpha}{A_m \sin \alpha} \right) \right]. \quad (\text{X.34})$$

Admițînd o dimensionare rațională a zăbrelețelor, se poate considera $A_m = A_d \cos \alpha$, astfel că se obține

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 EA} \left[\lambda^2 + \frac{\pi^2 A}{A_d} \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right) \right]. \quad (\text{X.35})$$

Rezultă că pentru a ține seama de deformația pe care o produce forța tăietoare, este suficient ca în relațiile în care intervine coeficientul de zvelteță λ , acesta să fie înlocuit cu un coeficient de zvelteță transformat

$$\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + \pi^2 \frac{A}{A_d} \left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)}. \quad (\text{X.36})$$

În cazul unui sistem de zăbrelețe cu diagonale încrușate (fig. X.12, b), montanții au eforturi egale cu zero și relația (X.36) devine

$$\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + \frac{\pi^2 A}{A_d \sin \alpha \cos^2 \alpha}} \quad (\text{X.37})$$

În care A_d cuprinde aria secțiunii tuturor diagonalelor din panou.

Aceeași relație se aplică și în cazul sistemului de zăbrelețe din fig. X.12, c. Unghiurile α folosite obișnuit în practică conduc la o valoare a paran-

tezei $\left(\frac{1}{\sin \alpha \cos^2 \alpha} + \frac{1}{\sin \alpha} \right)$ mai mică decît 5; ca urmare, în cazurile curente, se poate folosi relația acoperitoare

$$\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + 50 \frac{A}{A_d}}. \quad (\text{X.38})$$

Relații de calcul. La barele alecătuite din elemente depărtate, solidarizate cu zăbrelețe, verificarea se face în raport cu una din axele principale ale secțiunii $x - x$ sau $y - y$, după cum este mai defavorabil.

Dacă axa $x - x$ înfățișează secțiunile ramurilor, pline sau solidarizate cu furnuri, calculul se face ca la barele cu secțiune plină (fig. X.13, a și b); cînd

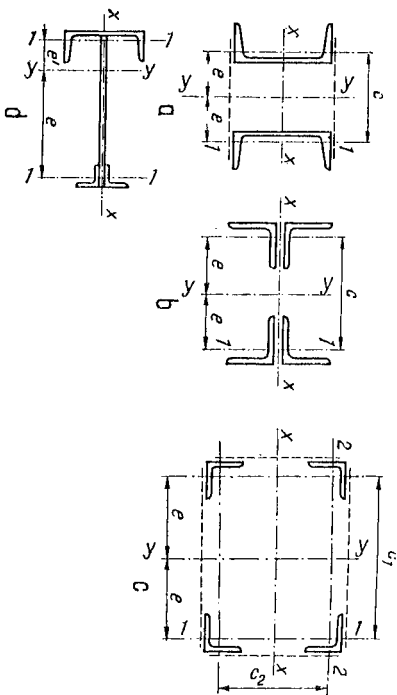


Fig. X.13. Secțiuni din elemente depărtate.

axa $x - x$ sau $y - y$ nu înfățișează secțiunea ramurii (fig. X.13, c) verificarea se face de asemenea ca la barele cu secțiune plină, coeficientul de flambaj φ fiind determinat în raport cu λ_{tr} . La verificarea ramurilor barei se ține seama că efortul unitar σ/φ_1 , rezultat din flambajul de ansamblu al barei, nu poate depăși efortul unitar φ_1/σ_e și în total σ_e/φ_1 fiind coeficientul de flambaj al ramurii.

Din relația (X.15) rezultă

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_B - \sigma}{\sigma_B - 1,3 \sigma} \sigma = \frac{\sigma}{\varphi_1}. \quad (\text{X.39})$$

Deoarece în solicitarea barei în ansamblu, $\sigma_{max} < \sigma_e$ și $\sigma < \sigma_B$, valoarea coeficientului φ_1 , care în acest caz înlocuiește coeficientul de flambaj φ , este dată de relația

$$\varphi_1 = \frac{\sigma_B - 1,3 \sigma}{\sigma_B - \sigma} = \frac{\mu - 1,3}{\mu - 1} \quad (\text{X.40})$$

unde $\mu = \sigma_B/\sigma$; rezultă ușor că $\varphi_1 > \varphi$ și egal cu φ cînd $\sigma = \sigma_B$.

Ținînd seama de această situație, verificarea barei solidarizată cu zăbrelețe se face cu relația

$$\frac{N}{\varphi_1 \varphi_1 A} \leq R. \quad (\text{X.41})$$

Coeficientul φ_1 , după cum rezultă din relația (X.40) este funcție de λ și de $\sigma = N/A$.

Barele cu secțiune nesimetrică (fig. X.13, d) se verifică folosind aceeași relație, coeficientul φ_1 fiind determinat pentru ramura situată la distanța e de axa neutră a secțiunii, lungimea de flambaj fiind l_1 , egală cu distanța

Între nodurile create de zăbrelițe. Este posibil, în unele situații, când coeficientul φ_r al ramurii mai apropiate de axa neutră ar fi sensibil mai mic decât al ramurii mai depărtate, să fie necesară încă o verificare cu relația

$$\frac{\sigma}{\varphi_r} \left[1 + \left(\frac{1}{\varphi_1} - 1 \right) e' \right] \leq R, \quad (\text{X.42})$$

în care σ este efortul unitar de compresie simplă și $\sigma \left(\frac{1}{\varphi_1} - 1 \right)$ este efortul unitar de încovoiere, produsă de flambaj; e și e' se iau conform fig. X.13, d și φ_r corespund ramurii care se verifică.

Zăbrelițele se dimensionează la efortul de compresie D , ce le revine din forța tăietoare T și care este

$$D = \frac{T_1}{\cos \alpha} \quad (\text{X.43})$$

în care T_1 este efortul ce revine unei diagonale comprimate.

Relația de calcul este

$$\frac{D}{\varphi A} \leq R \quad (\text{X.44})$$

unde A este aria secțiunii unei singure zăbrelițe și φ coeficientul de flambaj minim al zăbreliței. În cazul zăbrelițelor alcătuite dintr-o singură cornieră, prinsă pe o singură aripă, apar excentricități la transmiterea eforturilor; se acceptă să se țină seama de efectul excentricității, înlocuind R prin $0,75 R$; nu se ține seama de acest efect la cornierele cu aripi neegale, prinse de aripi mai lată.

Determinarea forței tăietoare se face ținând seama de modul în care se produce flambajul.

La o bară din elemente depărtate supusă la o compresie axială $N = A\sigma$, efortul unitar în fibra cea mai solicitată este σ/φ ; efortul unitar datorit momentului rezultat din deformarea barei este

$$\left(\frac{1}{\varphi} - 1 \right) \sigma. \quad (\text{X.45})$$

Ca urmare, momentul la mijlocul barei este.

$$M_m = \sigma \left(\frac{1}{\varphi} - 1 \right) \frac{l}{e} = \frac{\sigma}{\varphi} (1 - \varphi) \frac{l}{e} \quad (\text{X.46})$$

în care l este momentul de inerție al barei în raport cu axa față de care se produce flambajul și e , distanța de la axa neutră la axa unei ramuri. Într-un punct oarecare la distanța x de origine, deformata fiind asimilată cu o sinusoidă, momentul este

$$M = M_m \sin \frac{\pi x}{l} \quad (\text{X.47})$$

de unde

$$T_f = \frac{dM}{dx} = \frac{\pi}{l} M_m \cos \frac{\pi x}{l} = \frac{\pi}{l} \frac{1 - \varphi}{\varphi} \cdot \frac{l\sigma}{e} \cos \frac{\pi x}{l}. \quad (\text{X.48})$$

Înlocuind $l = A l^2$ și ținând seama că $e \approx i$, l/i este egal cu λ și $N = A\sigma$, se obține

$$T_f = \frac{\pi(1 - \varphi)}{\lambda} \cdot \frac{N}{\varphi} \cos \frac{\pi x}{l}. \quad (\text{X.49})$$

Efortul axial cel mai mare pe care îl poate suporta bara este $N = \varphi_r A \sigma_r$ astfel că pentru $x = 0$ și $x = l$, forța tăietoare este maximă și egală cu

$$T_{max} = \frac{\pi(1 - \varphi)}{\lambda} \varphi_r A \sigma_r. \quad (\text{X.50})$$

În această relație φ corespunde unui λ_e determinat pentru $\varphi_r \sigma_r$ în loc de σ_r ; $\lambda_e = \lambda \sqrt{\varphi_r}$.

c. BARE SOLIDARIZATE CU PLĂCUȚE

Coefficientul de zăbrelițe. Punind și în cazul barelor alcătuite din elemente solidarizate cu plăcuțe aceeași condiție ca la barele solidarizate cu zăbrelițe, că secțiunea inimii A_e de la barele cu secțiune plină se poate înlocui cu o inimă convențională A_e pentru determinarea efectelor forței tăietoare, se obține:

$$A_y = \frac{k T l_1}{G A_e} \quad (\text{X.51})$$

La o bară cu ramurile avind aceeași secțiune A_1 , legăturile plăcuțelor cu ramurile fiind rigide, deformarea unui panou sub acțiunea forței tăietoare T se face astfel încît la mijlocul lungimilor ramurilor l_1 și a plăcuțelor c apar puncte de inflexiune. În punctele de inflexiune ale ramurilor acționează forțele $T/2$, iar în punctele de inflexiune ale plăcuțelor, forțe Q egale cu $T l_1 / c$, ceea ce rezultă din echilibrul elementului ABC (fig. X.14). Deplasarea Δy a punctelor A și B este suma deplasărilor datorite rotirii elementului ABC și deformării porțiunii de ramură de lungime $l_1/2$.

$$\delta_1 = \theta \frac{l_1}{2} = \frac{T l_1^2 c}{24 E I_1} \quad (\text{X.52})$$

$$\delta_2 = \frac{T l_1^3}{48 E I_1}. \quad (\text{X.53})$$

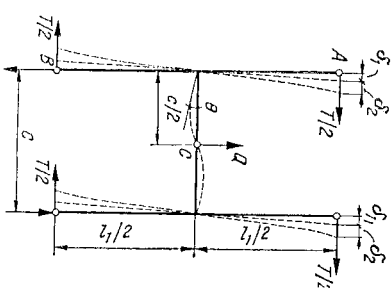


Fig. X.14. Deplasarea produsă de forța tăietoare la bare solidarizate cu plăcuțe.

Deplasarea totală Δy este

$$\Delta y = \delta_1 + \delta_2 = \frac{T_1 l_1^3}{24 E} \left(\frac{l_1}{2I_1} + \frac{c}{I_p} \right). \quad (\text{X.54})$$

Rezultă din (X.51)

$$\frac{k T_1 l_1}{G A_p} = \frac{T_1 l_1^3}{24 E} \left(\frac{l_1}{2I_1} + \frac{c}{I_p} \right)$$

sau

$$\frac{k}{G A_p} = \frac{l_1^3}{12 E I_1} \left(\frac{1}{2} + \frac{c I_1}{l_1 I_p} \right). \quad (\text{X.55})$$

Relația (X.27) este valabilă și în cazul barelor solidarizate cu plăcuțe. Înlocuind $k/G A_p$, prin $k/G A_p$, de mai sus se obține

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 E A} \left[\lambda^2 + \frac{\pi^2 A I_1^3}{12 I_1} \left(\frac{1}{2} + \frac{c I_1}{l_1 I_p} \right) \right]. \quad (\text{X.56})$$

Ținând seama că $I_1 = A I_1^2$ și $A = 2 A_1$, rezultă

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 E A} \left[\lambda^2 + \frac{\pi^2 \lambda_1^2}{12} \left(1 + 2 \frac{c I_1}{l_1 I_p} \right) \right]. \quad (\text{X.57})$$

Termenul al doilea din paranteza relației (X.57) reprezintă influența deformației plăcuței de solidarizare, care, în cazurile obișnuite în practică, este mică și poate fi neglijată.

În aceste condiții relația (X.57) devine aproximativ

$$f = \frac{M_m}{\pi^2 E A} [\lambda^2 + \lambda_1^2]. \quad (\text{X.58})$$

Ca urmare, în cazul plăcuțelor se poate lucra în general cu un coeficient de zveltetă transformat

$$\lambda_{tr} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2}. \quad (\text{X.59})$$

În cazul când influența deformației plăcuței de solidarizare este importantă pentru determinarea coeficientului λ_{tr} , se folosește relația (X.57); se ține seama de aceeași influență, după unele prescripții, când

$$\frac{I_p l_1}{I_1 c} < 3. \quad (\text{X.60})$$

Relații de calcul. Barele comprimate axial, în ansamblul lor, se verifică împotriva pierderii stabilității în raport cu axa $x-x$ sau axa $y-y$; după cum bara poate flamba într-o direcție sau alta. Dacă planul de flambaj este paralel cu plăcuțele, coeficientul de flambaj se determină în raport cu λ_{tr} .

În zona cea mai sollicitată la flambaj, care este la mijlocul lungimii de flambaj, relația de verificare a ramurilor este

$$\frac{N}{\varphi_1 \varphi_A} \leq R. \quad (\text{X.61})$$

La capetele lungimii de flambaj, unde forța tăietoare este maximă, ramurile trebuie verificate la legătura cu plăcuțele (fig. X.15). Forța tăietoare maximă este dată de relația (X.50). Momentul încovoietoare într-o ramură este

$$M = \frac{T_1 l_1}{4}. \quad (\text{X.62})$$

Relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi_A} + \frac{T_1 l_1}{4} \cdot \frac{n}{I_1} \leq R. \quad (\text{X.63})$$

În aceste relații A este aria secțiunii barei, I_1 momentul de inerție al unei ramuri în raport cu axa proprie paralelă cu axa barei în raport cu care se produce flambajul și n distanța de la axa ramurii la fibra cea mai departată în direcția flambajului barei.

Dacă secțiunile ramurilor nu sînt egale se ține seama că forța tăietoare se distribuie celor două ramuri proporțional cu momentele lor de inerție. Plăcuțele de solidarizare se verifică la momentul ce revine plăcuțelor la legătura cu ramurile, celor două plăcuțe revenindu-le

$$M_p = \frac{T_1 l_1}{2} \quad (\text{X.64})$$

și la forța tăietoare din plăcuțe care este

$$Q = \frac{T_1 l_1}{c}. \quad (\text{X.65})$$

Relațiile de verificare sînt

$$\sigma = \frac{M_p}{W_p} \leq R \quad (\text{X.66})$$

și

$$\tau = \frac{T_1 l_1}{3 b_p c l} \leq 0,6 R \quad (\text{X.67})$$

în care W_p este modulul de rezistență al ansamblului de plăcuțe (în general două), b_p lățimea și l grosimea unei plăcuțe. Prinderea plăcuțelor de ramuri se verifică la aceleași sollicitări.

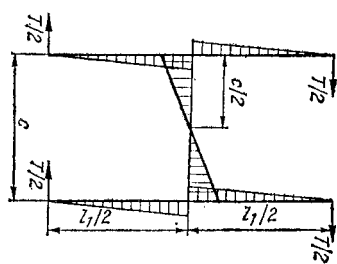


Fig. X.15. Momente produse de forța tăietoare în ramuri și plăcuțe.

5. STABILITATEA LOCALĂ A PEREȚILOR ELEMENTELOR COMPRESIMATE

În cazul barelor comprimate axial relațiile de calcul stabilite mai înainte presupun că lățimea pereților secțiunii în raport cu grosimea lor nu depășește anumite limite; în caz contrar pot apărea pierderi de stabilitate locală înainte de a se produce flambajul barei. Considerând bara articulată la capete, se poate pune condiția ca bara să flambeze înainte de a se produce voalarea pereților. În domeniul elastic această condiție se exprimă prin

$$\frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} k \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (\text{X.68})$$

unde: μ este coeficientul lui Poisson, egal cu 0,3;

k — coeficient care depinde de legătura pereților pe contur și de distribuția eforturilor unitare σ ;

t și b — lățimea și grosimea pereților.

Din relația (X.68) rezultă

$$\frac{b}{t} \leq 0,303 \lambda \sqrt{k}. \quad (\text{X.69})$$

Coeficientul k , efortul unitar σ fiind uniform distribuit pe lățimea b , are valorile:

$k = 4$ pentru plăci articulate pe margini;

$k = 0,426$ pentru plăci articulate pe o margine și libere pe alta;

$k = 7$ pentru plăci cu margini opuse încastrate.

Cînd plăcile au pe margini legături parțial încastrate, valoarea coeficientului k este influențată de raportul

$$\beta = \frac{bt_1^2}{ht_2^2} \text{ pentru inimi și } \beta = \frac{ht^2}{bt_1^2} \text{ pentru tălpi (fig. X.16).}$$

Se poate admite că relația (X.69) este valabilă pentru $\lambda \geq 75$; pentru valori mai mici ale coeficientului de zveltețe λ se pot accepta pentru b/t valorile care corespund pentru $\lambda = 75$.

Valorile rapoartelor b/t , respectiv h_1/t_1 , pentru oțel marca OL 37 cu $\sigma_c = 24 \text{ daN/mm}^2$ și pentru diferite cazuri de legături sînt:

— placă articulată pe o margine și liberă pe alta

$$\frac{b}{t} = 0,303 \lambda \sqrt{0,426}; \quad (\text{X.70})$$

— placă articulată pe ambele margini

$$\frac{b}{t} = 0,606 \lambda; \quad (\text{X.71})$$

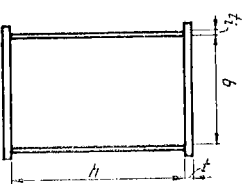


Fig. X.16. Secțiune înclinată.

— placă încastrată pe ambele margini

$$\frac{b}{t} = 0,303 \lambda \sqrt{7} = 0,80 \lambda; \quad (\text{X.72})$$

— placă parțial încastrată pe ambele margini

$$\frac{b}{t} = 0,303 \lambda \sqrt{4 + 3(1 - \beta)}. \quad (\text{X.73})$$

Coeficientul β este zero cînd marginile sînt încastrate și $\beta = 1$ cînd sînt articulate.

Pentru oțeluri cu altă limită de curgere σ_c , valorile rezultate pentru OL 37 se multiplică cu $\sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}$.

În tabelul X.1 se dau valorile raportului b/t pentru tălpi, respectiv h_1/t_1 , pentru inimi și diferite cazuri de secțiuni uzuate pentru OL 37.

TABELUL X.1

Valorile rapoartelor b/t și h_1/t_1 pentru diferite secțiuni din OL 37*

Secțiuni uzuate	Raportul	k	$\lambda \leq 75$	$\lambda > 75$
	$\frac{b}{t}$	0,426	15	0,2 λ
	$\frac{h_1}{t_1}$	0,426	15	0,2 λ
	$\frac{b}{t}$	0,426	15	0,2 λ
	$\frac{h_1}{t_1}$	4	45	0,606 λ **
	$\frac{b_1}{t}$	4	45	0,606 λ **
	$\frac{h_1}{t_1}$	0,426	15	0,2 λ

* Pentru oțeluri cu alte limite de curgere σ_c valorile din tabel se multiplică cu $\sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}$.

** Nu mai mult decît 0,606 λ .

6. LUNGIMI DE FLAMBAJ ȘI COEFICIENȚII λ

a. Lungimi de flambaj

Lungimea de flambaj a unei bare este egală cu distanța dintre două prinderi articulate sau dintre două puncte de inflexiune ale deformatei barei, unul dintre acestea putînd fi un punct fictiv, situat pe prelungirea

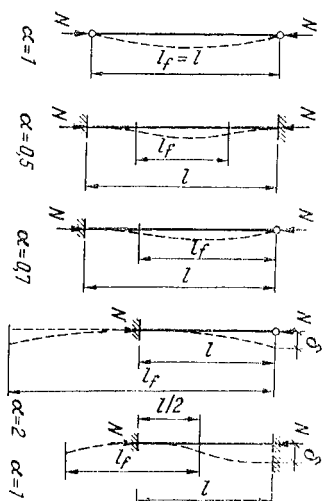


Fig. X.17. Diferite valori α.

Lungimea de flambaj corespunzătoare oricărei din situații poate fi determinată; în descrierile pentru calculul construcțiilor metalice sînt date valorile lungimilor de flambaj pentru diferite situații curente.

În cele ce urmează se dau unele reguli și valori uzuale.

O bară prinsă la capete cu un nit sau cu un șurub se consideră articulată la ambele capete; dacă prinderea se face cu două sau mai multe nituri sau șuruburi sau cu sudură, coeficientul α se poate lua 0,8 la 0,9, în funcție de rigiditatea prinderii.

Lungimile de flambaj ale barelor grinzilor cu zăbrele se iau după cum urmează:

— la tălpi în planul grinzii $l_f = l$, care este distanța între nodurile teoretice ale grinzii; în plan transversal lungimea de flambaj l_f este egală cu distanța între nodurile fixate contra deplasării transversale;

— pentru diagonalele și montanții de reazem $l_f = l$, lungimea l fiind măsurată între nodurile teoretice;

— pentru celelalte zăbrele $l_f = 0,8 l$ în planul grinzii și l în plan transversal.

În cazul tălpii superioare din fig. X.18, a împiedică să se deplaseze transversal în punctele 1 și 2, barele fiind solicitate de eforturile N_1 și N_2 ,

$N_1 > N_2$, lungimea de flambaj în planul grinzii este $l_f = l_1$, iar în plan transversal

$$l_f = l_2 \left(0,75 + 0,25 \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (X.74)$$

N_1 și N_2 introducîndu-se cu semnele lor.

Pentru zăbrele încrucișate, prinse la intersecții (fig. X.18, b), lungimea de flambaj a diagonalei comprimate se ia în plan transversal:

— $l_f = 0,5 l$, dacă diagonala cu care se încrucișează este întinsă și $l_f = 0,7 l$ dacă aceasta are efort nul și ambele diagonale nu sînt întrerupte la încrucișare; în cazul în care bara care se opune flambajului este întreruptă la încrucișare și cele două diagonale sînt prinse cu guseu $l_f = 0,7 l$, respectiv $l_f = l$.

În planul grinzii $l_f = l_1$.

b. Coeficienții de zvelteță limită

În principiu, coeficienții de zvelteță λ pot fi admisi pînă la valoarea $\lambda = 250$. Barele comprimate ale construcțiilor metalice trebuie să aibă însă o rigiditate suficientă pentru a nu se deforma mult sau a nu vibra; pentru aceste motive coeficienții de zvelteță se limitează în funcție de importanța și rolul pe care barele le au în ansamblul construcției.

Valorile limită ale coeficienților de zvelteță admiși de norme din țara noastră sînt dați în tabelul X.2.

În general, la alegerea barelor comprimate coeficienții de zvelteță se iau mai mici decît cei dați în tabel, în funcție de rolul barelor în construcție.

Valorile limită ale coeficienților de zvelteță λ pentru bare comprimate

Elementul de construcție	λ_max
Grinzii cu zăbrele:	
— tălpi, diagonale de reazem și montanți de reazem care transmit reacțiuni	120
— celelalte elemente	150
Stîlpi principali	150
Stîlpi secundari la pereți, luminătoare, zăbrelele stîlpilor, contravînturi verticale între stîlpi	120
Contravînturile șarpantelor în general, exclusiv cele arătate mai sus	150
Bare care servesc la reducerea lungimilor de flambaj ale barelor comprimate și alte elemente, care nu sînt solicitate direct	200
Tălpiile superioare ale fermei în timpul montajului	200
	220

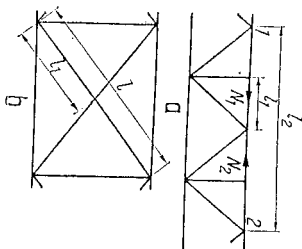


Fig. X.18. Grinzi cu zăbrele și bare suplimentare și diagonale încrucișate.

XI. ELEMENTE CU SECȚIUNE PLINĂ SUPUSE LA ÎNCOVOIERE

1. ALCĂȚURIREA GENERALĂ A SECȚIUNII

a. Forme generale

Pentru piesele supuse la încovoiere este convenabil ca materialul să fie distribuit în secțiune cât mai departe de axa neutră. Pentru o secțiune dreptunghiulară, modulul de rezistență este

$$W = \frac{1}{6} bh^2 = 0,166 Ah, \quad (XI.1)$$

iar pentru o secțiune teoretică, la care materialul ar fi concentrat în axele tălpilor la aceeași distanță h , se obține

$$W = 2 \frac{I}{h} = 2 \frac{\frac{A}{2} \left(\frac{h}{2}\right)^2}{h} = \frac{Ah}{2} = 0,5 Ah. \quad (XI.2)$$

Prin urmare, în cele două cazuri rezultă

$$\sigma = \frac{M}{0,166 Ah} = 6 \frac{M}{Ah};$$

$$\text{secțiune cu material la distanță} \quad \sigma = \frac{M}{0,5Ah} = 2 \frac{M}{Ah}.$$

Aceasta înseamnă că pentru același moment, într-o piesă cu secțiune dreptunghiulară eforturile unitare sînt de trei ori mai mari decît într-o piesă în care materialul ar fi așezat la o distanță h egală cu înălțimea grinzii dreptunghiulare. Secțiunea teoretică nu poate fi realizată practic; este însă posibil să fie realizate secțiuni pline la care să se obțină un modul de rezistență egal cu $0,4 Ah$ și chiar $0,45 Ah$. Este indicată pentru grinzile supuse la încovoire folosirea unor secțiuni simetrice față de planul de acțiune al forțelor folosite. Secțiunile nesimetrice față de planul de acțiune al forțelor sînt solicitate în mod defavorabil. Este de asemenea recomandabilă folosirea secțiunilor simetrice în raport cu axa $x-x'$; în unele cazuri, îndeosebi cînd la una din tălpi acționează forțe transversale, se folosesc secțiuni cu una din tălpi mai dezvoltată.

În practică, unele condiții speciale impun însă folosirea unor grinzii cu secțiuni nesimetrice.

Grinzi din profile laminate.
Grinzile din profile dublu T laminate sînt economice, fiindcă cer o manoperă redusă pentru executarea lor și de aceea se folosesc ori de cîte ori este posibil. Pentru unele scopuri, cum ar fi pame de acoperiș, se întrebuintează bare din oțel U sau altele

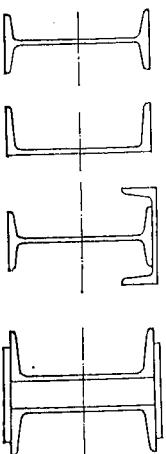


Fig. XI.1. Grinzi din profile laminate.

forme. Dacă solicitările sînt mai mari, se folosesc grinzii cu secțiuni din două profile U sau dublu T, așezate alăturat sau depărtate și legate între ele (fig. XI.1). Se poate mări secțiunea grinzii prin adăugarea unor plătbande la cele două tălpi. Cînd la talpa superioară, de exemplu, ar acționa și o forță transversală, se poate mări secțiunea grinzii prin adăugarea unor plătbande la cele două tălpi. Cînd la talpa superioară, de exemplu, ar acționa și o forță transversală, se poate întări grinda prin adăugarea unui profil U așezat culcat la acea talpă.

Din profile laminate dublu T se pot realiza grinzii cu goluri pe inimă (fig. XI.2). Inima profilului se taie conform fig. XI.2, a, după care se asambliază prin sudare, rezultînd o grindă ca în fig. XI.2, b. Din același profil se pot obține grinzii cu goluri cu înălțimi diferite, putîndu-se ajunge la o spornic a capacității portante cu pînă la 50% față de aceea a profilului laminat. Este recomandabil ca tăierea să se facă astfel încît lîngă tălpi să rămîna porțiuni de inimă cu lățimea egală cu aproximativ o treime din înălțimea profilului laminat, iar forma golului să fie apropiată de aceea a unui hexagon. La colțurile întîrînde ale golului, din cauza concentrărilor mari de eforturi, se atinge repede limita de curgere; capacitatea de rezistență a grinzii nu este limitată de această plastificare locală.

Este recomandabil ca tăierea inimii să se facă cu dispozitive automate, tăietura, îndeosebi în zona colțurilor, urmînd să fie cît mai curată.

În cazul unor solicitări la încovoiere mari, grinzile din profile laminate simple nu mai pot fi suficiente. Așezarea unor profile laminate unele lîngă altele este neeconomică, ducînd la un consum ridicat de material; o asemenea soluție se adoptă numai cînd înălțimea grinzii trebuie să fie limitată la o anumită valoare. Forma cea mai răspîndită pentru grinzile încovoiate mari constă dintr-o secțiune alcătuită din două tălpi, legate între ele printr-o tolă continuă, numită inimă. Se obține o grindă cu inimă plină.

Grinzi cu inimă plină sudate. Grinzile cu inimă plină sudate sînt alcătuite din două plătbande care formează tălpile și dintr-o inimă ce leagă tălpile între ele (fig. XI.3). Legătura dintre tălpi și inimă se face prin sudură. Forma obișnuită a grinzilor cu inimă

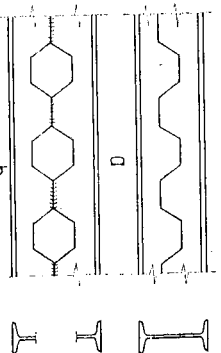


Fig. XI.2. Grinzi cu goluri din profil I.

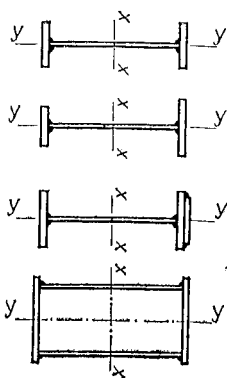


Fig. XI.3. Grinzi cu inimă plină sudate.

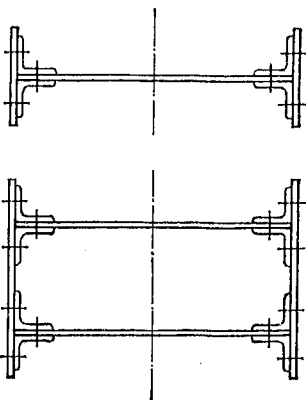


Fig. XI.4. Grinzi cu inimă plină nituite.

plină sudate este cea simetrică; tălpile sînt mai groase decît inima în vederea unei cît mai bune folosiri a materialului. Uneori se fac grinzi cu talpa inferioară mai puțin dezvoltată decît cea superioară. Este recomandabil ca tălpile să se facă din oțel sau din oțel și singură plăbandă; în cazul unor grinzi mari se alcătuesc totuși tălpi din două sau chiar trei plăbunde. În cazul unor grinzi cu solicitări mari se folosesc secțiuni cu *perete dublu* (cheson).

Grinzi cu inimă plină nituite. La grinziile cu inimă plină nituite legătura între tălpi și inimă se face cu ajutorul unor corniere, care intră în compunerea secțiunii. Secțiunea transversală poate fi simetrică în raport cu axele principale sau numai cu axa $y-y$, talpa superioară fiind mai dezvoltată, cînd forțele transversale sînt mari. Pentru grinzi puternice se fac secțiuni cu perete dublu, închise sau deschise la partea inferioară (fig. XI.4).¹

b. Elemente constructive

La alcătuirea secțiunilor grinzilor cu inimă plină, sudate sau nituite, este necesară respectarea unor elemente de ordin constructiv pentru buna alcătuire a secțiunii și pentru distribuția rațională a materialului.

Inima. Alegerea înălțimii și grosimii inimii ține seama de o repartizare rațională a materialului între tălpi și inimă, de condiția de economie, de condiția de săgeată și de necesitatea de a asigura inima contra pierderii stabilității. Grinzile înalte și cu inimă subțire duc la soluții ce satisfac o parte din condițiile expuse; la astfel de grinzi apare însă pericolul deformării inimii. Grosimea inimii se ia cel puțin 6 mm la grinziile ușoare și de cel puțin 8 mm la grinziile cu solicitări mari. Pe de altă parte, inima trebuie să reziste la forțecare și să nu se deformeze, deci grosimea trebuie aleasă pe considerații de calcul. În mod practic, grosimea inimii variază între $\frac{1}{100}$ și $\frac{1}{150}$ din înăl-

țimea inimii, uneori ajungînd la $\frac{1}{200}$ din înălțime și chiar la mai puțin. Cu

elt grinda este mai înaltă cu atît greutatea tălpiilor este mai mică, în schimb crește greutatea inimii și a elementelor de rigidizare. Greutatea totală a grinzii se micșorează cînd înălțimea grinzii crește, pînă cînd aceasta ajunge la o înălțime optimă, apoi începe să crească odată cu creșterea înălțimii grinzii. Pentru a găsi înălțimea inimii care corespunde greutateții totale minime, se pot face unele calcule.

Greutatea totală pe metru de grindă este:

$$g = g_t + g_i = \frac{2Mc}{hR} \gamma \psi_i + dt \gamma \psi_n \quad (\text{XI.3})$$

în care R este rezistența de calcul.

Coefficienții ψ_t și ψ_i pun în evidență surplusul de material ce apare din motive constructive, din cauza îmbinărilor, rigidizărilor etc. Valorile acestor coeficienți sînt: $\psi_t = 1,2$ la grinzi sudate, $\psi_i = 1,3$ la cele nituite, $\psi_t = 1,0 \dots 1,10$ pentru grinziile sudate și $\psi_t = 1,3 \dots 1,4$ pentru cele nituite. Grosimea cu înălțimea grinzii. Coeficientul $c = 0,80 \dots 0,85$ se introduce pentru a ține seama că o parte din moment este luată de inimă.

Minimul greutateții este cînd

$$\frac{dg}{dt} = -\frac{2Mc}{h^2 R} \gamma \psi_i + t \gamma \psi_n = 0.$$

Această expresie se poate pune și sub forma

$$\frac{2Mc}{hR} \psi_i = th \psi_n \quad (\text{XI.4})$$

ceea ce înseamnă aproximativ $A_t = A_n$, adică această condiție duce la o distribuție egală a materialului între tălpi și inimă. În practică secțiunea tălpiilor se ia între 50 și 60% din secțiunea totală a grinzii.

Tot din relația (XI.4) se poate scoate valoarea lui h

$$h = \sqrt{\frac{2\psi_i c}{\psi_n}} \cdot \sqrt{\frac{M}{tR}} = k \sqrt{\frac{W}{t}} \quad (\text{XI.5})$$

Valoarea lui k se poate lua 1,1 pentru grinziile sudate și 1,3 pentru cele nituite. Prin urmare, dacă se determină prin calcule modulul de rezistență necesar și se alege grosimea inimii, rezultă înălțimea h .

Grosimea inimii se mai poate alege și cu relația

$$t_i \geq (7 + 3h) \text{ mm} \quad (\text{XI.6})$$

în care h este înălțimea grinzii, în metri.

După unele criterii practice, grosimea inimii în funcție de înălțime se poate lua:

- pentru $h = 500$ mm o grosime $t_1 = 6...12$ mm;
- pentru $h = 1000$ mm o grosime $t_1 = 8...15$ mm;
- pentru $h = 1500$ mm o grosime $t_1 = 10...20$ mm;
- pentru $h = 2000$ mm o grosime $t_1 = 15...25$ mm.

Valorile mai mici se iau când forța tăietoare maximă este mică în raport cu momentul maxim, grinzile având tălpi mici, iar valorile maxime se iau pentru grinzi scurte, cu forțe tăietoare mari în raport cu valoarea momentului maxim, grinzile având tălpi cu secțiune mare.

În funcție de încălcările grinzii și de săgeata care se admite să o ia grinda simplu rezemată pe o deschidere, înălțimea h se poate lua între $1/8$ și $1/12$ din deschiderea grinzii. La grinzi cu încălcări mari și pentru săgeți admise mici, înălțimea grinzii poate crește până la $1/6$ din deschidere; la încălcări mici și săgeți admisiibile mari, înălțimea grinzii se poate reduce la $1/20$ din deschiderea grinzii. Înălțimea grinzilor continue se reduce, variind practic între $1/15$ și $1/30$ din deschidere.

Tălpiile. Suprafața secțiunilor tălpilor se ia $0,50-0,60$ din secțiunea totală a grinzii, adică una din tălpi se ia $0,25-0,30$ din secțiunea grinzii. Lățimea tălpilor este impusă într-o măsură importantă de rigiditatea transversală a grinzii și este influențată de distanța dintre punctele de fixare transversală a grinzii. Talpa comprimată poate fiamba transversal, dacă nu este asigurată prin măsuri constructive.

Pentru a se evita dimensionarea grinzii pe baza flambajului general, este necesar ca raportul dintre distanța l dintre punctele de fixare laterală a grinzii și lățimea tălpii să fie mai mic decât 15 la grinzile din OL 37.

Pentru oțeluri de altă marcă, raportul se multiplică cu $\sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}$, în care σ_c este limita de curgere a oțelului din care se execută grinda, în daN/mm². În funcție de înălțimea h a grinzii, lățimea tălpilor se ia între $1/5$ și $1/3$ din h .

La grinzile sudate, lățimea tălpilor de o parte și de alta a inimii nu trebuie să fie mai mare decât $15 t_1$ ($30 t_1$ în total) pentru grinzi din OL 37 și $13 t_1$ pentru grinzi din OL 52, t_1 fiind grosimea tălpii; când eforturile unitare sînt mai mici decât cele de calcul se admite o majorare pînă la 20%. Această măsură este impusă de condiția de stabilitate locală a tălpilor comprimate.

Tălpile grinzilor se fac de obicei dintr-o singură plătbandă; grosimea plătbandei nu este indicat să fie peste 35 mm și nici mai mare decât de trei ori grosimea inimii.

La sudarea tălpilor groase se produc deformații și eforturi unitare suplimentare mari; se adoptă de aceea uneori soluția cu tălpi din două plătbande. În fig. XI.5, a se vede că în cazul folosirii a două plătbande distribuția eforturilor unitare în secțiune nu mai este suficient de uniformă. O distribuție

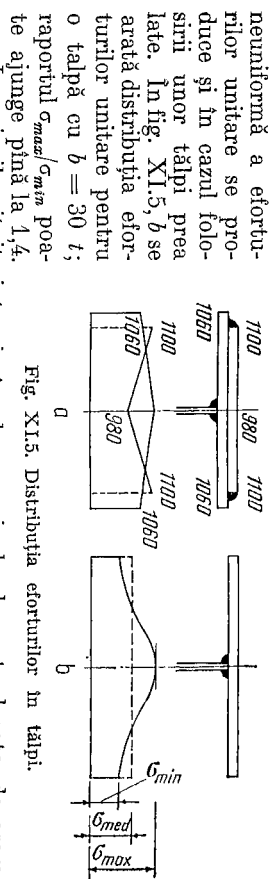


Fig. XI.5. Distribuția eforturilor în tălpi.

neuniformă a eforturilor unitare se produce și în cazul folosirii unor tălpi preluate. În fig. XI.5, b se arată distribuția eforturilor unitare pentru o talpă cu $b = 30 t_1$; raportul $\sigma_{max}/\sigma_{min}$ poate ajunge pînă la 1,4.

La grinzile nituite intervin în plus o serie de elemente legate de asamblarea pieselor prin nituire (fig. XI.6). Cornierele se scootese că fac parte din secțiunea tălpii. Suprafața secțiunii celor două corniere de la o talpă se ia cel puțin $0,3$ din suprafața tălpii. Lățimea b_1 a arpii, așezată transversal inimii, se ia aproximativ $\frac{1}{10}$ din înălțimea inimii. La grinzile foarte înalte se ia lățimea cea mai mare din sortimentul de corniere. Grosimea t_1 a arpiilor cornierelor se ia aproximativ $\frac{b_1}{10}$; este bine să se ia grosimea arpiilor egală cu grosimea inimii, ceea ce ușurează alcătuirea îmbinărilor. Cornierele tălpilor pot fi cu arpi egale sau neegale. Cornierele cu arpi neegale așezate cu aripa lăță transversal duc la soluții mai economice. La grinzile cu tălpi cu secțiune mare, apar însă complicații la așezarea niturilor pe inimă. Plătbandele trebuie să abă lățimea ceva mai mare decât lățimea totală a cornierelor. Această lățime însă nu poate fi prea mare, fiind limitată de distanța e_2 de la ultimul șur de nituri la marginea plătbandei. Când talpa este alcătuită din două sau mai multe plătbande, distanțele e_1 se iau mai mici sau cel mult egale cu $8 t_1$, t_1 fiind grosimea plătbandei mai subțiri; această condiție este impusă de buna legare a pachetului de plătbande. Când talpa este alcătuită dintr-o singură plătbandă, distanța e_1 se ia de cel mult $12 t_1$. Lățimea totală a plătbandelor rezultă deci

$$b = 2b_1 + t_1 + 2b'$$

în care b' se ia cel puțin 5 mm.

Grosimea pachetului de plătbande se ia după necesitatea de dezvoltare a secțiunii. Numărul plătbandelor nu este recomandabil să fie mai mare decât trei. Pe de altă parte, grosimea pachetului de plătbande și corniere trebuie să fie astfel încît la îmbinări să nu rezulte nituri cu lungimi de strîns mai mari decât 5 d . Lungimi de strîns mai mari se pot lua, dar impun măsuri speciale de execuție.

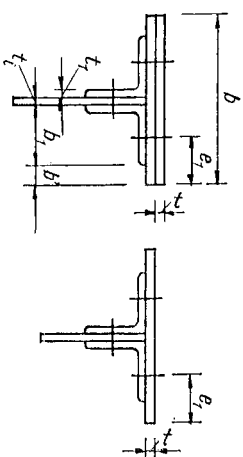


Fig. XI.6. Tălpi nituite.

c. Variația secțiunii în lungul grinzii

În general, secțiunea unei grinzi încovoiate se modifică în lungul ei, urmărindu-se într-o măsură oarecare variația momentului încovoietor; numai la grinzi moi se păstrează o secțiune constantă. Variația secțiunii grinzilor sudate se face modificându-se grosimea sau lățimea tălpilor; se pot modifica amindouă dimensiunile deodată. La grinzile nituite modificarea secțiunii se face prin adăugare de plătbande de grosime necesară (fig. XI.7).

În unele cazuri, modificarea secțiunii se face varîndu-se înălțimea grinzii; soluția este folosită mai des în cazul grinzilor continue.

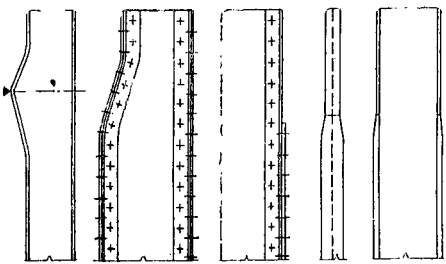


Fig. XI.7. Grinzi cu secțiuni variabile.

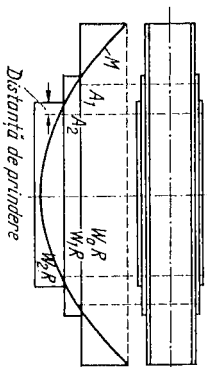


Fig. XI.8. Determinarea punctelor de variație a secțiunii.

Pentru determinarea punctelor de unde începe să fie necesară modificarea secțiunii se face de obicei o epură (fig. XI.8). La o anumită scară se trasează diagrama momentelor M ; se duc apoi drepte paralele cu axa grinzii, care să reprezinte valori egale cu W_0R , W_1R , W_2R etc., adică cu momentele capabile ale unor secțiuni diferite, avînd modulele de rezistență W_0 , W_1 , W_2 etc. Secțiunea cu modulul de rezistență W_0 ar fi cea mai mică secțiune, care la grinzile nituite ar reprezenta secțiunea formată de inimă și corniere; următoarele ar fi alcătuite din aceleași secțiuni, fie cu tălpi mai mari, la grinzile sudate, fie cu adaosuri de plătbande, la cele nituite.

Dreptele duse intersectează curba momentelor în punctele A_1 , A_2 etc.; din aceste puncte este necesară o secțiune sporită. Pentru a asigura aceeași trebură ce adaosurile respective să înceapă din puncte deplasate cu o distanță oarecare și să fie prinse cu sudură sau nituri înainte de punctul teoretic; prinderea se va termina înainte ca o altă modificare de secțiune să înceapă a fi necesară și astfel înclt variația de încărcare cu eforturi să corespundă diagramei momentelor în porțiunea respectivă.

2. VERIFICAREA SECȚIUNII GRINZILOR ÎNCOVUIATE

Verificarea de rezistență, grinda fiind solicitată de încărcări situate în planul $y-z$, se face cu relațiile

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y \leq R \quad (XI.7)$$

și

$$\tau = \frac{TS}{I_x I_x} \leq 0,6 R. \quad (XI.8)$$

În cazul cînd $\tau > 0,4 R$ este necesar să se facă și o verificare a efortului unitar echivalent

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \leq R \quad (XI.9)$$

în care eforturile unitare σ și τ sînt determinate la marginea inimii.

În cazul unei încărcări mobile este posibil ca relația (XI.9) să aibă o valoare maximă cînd poziția convoiului duce la σ_{max} sau τ_{max} ; în asemenea situații se face o verificare cu σ_{max} și τ corespunzător și alia cu τ_{max} și σ corespunzător.

În relațiile (XI.7) I_x este momentul de inerție al întregii secțiuni în raport cu axa $x-x$; în relația (XI.8) S este momentul static al părții din secțiune care aluneacă în raport cu axa $x-x$, iar I_x este momentul de inerție al secțiunii brute în raport cu $x-x$. La grinzile nituite I_x din relația (XI.7) se determină ținîndu-se seama de slăbiriile din zona întînsă. Efortul unitar τ poate fi determinat și cu formula

$$\tau = \frac{T}{h_x t}, \quad (XI.10)$$

care corespunde unei distribuții unifornime pe înălțimea inimii. Relația (XI.10) se poate aplica și grinzilor cu inima plină cu tălpile neegale, dacă arile secțiunilor celor două tălpi nu diferă prea mult.

Variațiile eforturilor unitare σ , τ și σ_{ech} pe secțiune sînt arătate în fig. XI.9.

Pe talpa superioară a grinzii pot exista unele încărcări concentrate, fixe sau mobile, care se transmit prin intermediul unor roți sau grinzi. Considerînd elementele grinzii care sînt deasupra inimii ca o grindă rezemată pe capătul inimii, repartizarea presiunii-

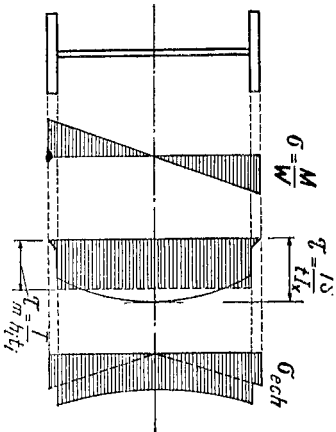
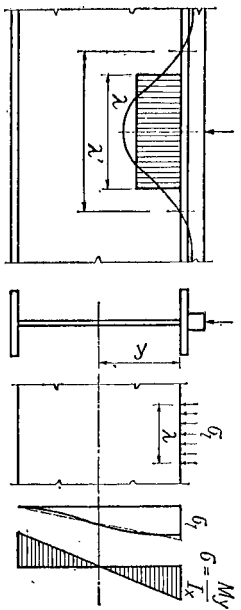


Fig. XI.9. Distribuția eforturilor unitare într-o secțiune.

Fig. XI.10. Distribuția efortului unitar σ_1 .

lor pe capătul inimii se presupune că se face după legea distribuției presiunilor sub o grindă așezată pe un mediu elastic (fig. XI.10). Rezultanta presiunilor P , pentru simplificare, se înlocuiește cu

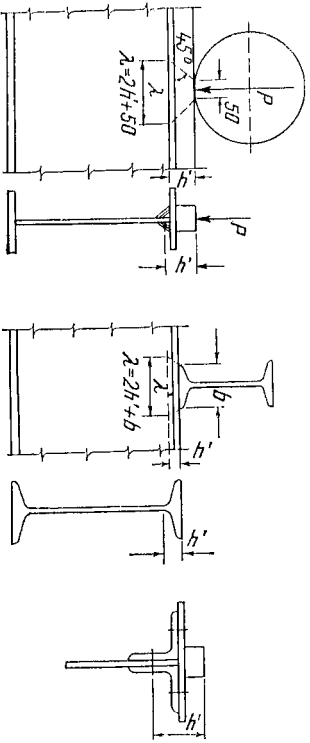
$$P = t_1 \lambda \sigma_1 \quad (\text{XI.11})$$

în care λ este lungimea echivalentă corespunzătoare unei distribuții uniforme și σ_1 este efortul unitar, transmis transversal inimii la nivelul de reparțizare considerat. La grinzile sudate se consideră că reparțizarea se face chiar la nivelul capătului inimii; la grinzile din profile laminatate nivelul de reparțizare se poate lua la începutul racordării inimii cu talpa, iar la grinzile nituite pe linia niturilor (fig. XI.11).

Unele prescripții, și de asemenea și prescripțiile noastre, admit o reparțizare la 45° de la baza elementului care reparțizează; rezultă o lungime λ egală cu

$$\lambda = 2h' + 50 \text{ mm sub roți și} \\ \lambda = 2h' + b \text{ mm sub grinzi,}$$

h' fiind înălțimea prin care se face reparțizarea.

Fig. XI.11. Determinarea distanței λ .

Efortul unitar transversal σ_1 în inimă, pe linia de reparțizare, trebuie să satisfacă condiția

$$\sigma_1 = \frac{P}{t_1 \lambda} \leq R. \quad (\text{XI.12})$$

În unele situații este necesar să se facă și verificarea cu eforturile unitare determinate pe linia de reparțizare a eforturilor unitare σ_1 , folosind relația

$$\sigma_{\text{ca}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_1^2} = \sqrt{2} \sigma_1 \leq 1,1 R. \quad (\text{XI.13})$$

Coefficientul 1,1 se admite deoarece σ_{ca} scade repede sub nivelul de reparțizare.

În cazul cînd grinda este solicitată și după direcția $x-x$ (fig. XI.12) se ține seama și de solicitările după această direcție, folosind relația

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x \leq 1,1 R. \quad (\text{XI.14})$$

În această relație I_x și I_y sînt momentele de inerție ale secțiunii grinzii. Coeficientul 1,1 se admite deoarece însumarea celor două eforturi unitare maxime se face pe o zonă foarte mică.

În relația (XI.14) se introduce M_x maxim și M_y corespunzător și se face și o verificare cu M_y maxim și M_x corespunzător.

Modul de calcul expus este bazat pe comportarea elastică a materialului. Dacă se admite apariția unor deformații plastice pe o parte din secțiunea grinzii, relația (XI.14) se poate pune sub forma

$$\sigma = \frac{M_x}{k W_x} + \frac{M_y}{k W_y} \leq R. \quad (\text{XI.15})$$

În această relație k este un coeficient care ține seama de gradul de plastificare a secțiunii (fig. XI.13).

Prescripțiile pentru calculul construcțiilor metalice admit să se țină seama de posibilitatea dezvoltării unor deformații plastice la grinzile cu secțiune constantă în lungul lor, laminatate sau sudate, cu excepția grinzilor pentru căile de rulare ale podurilor rulante, dacă sînt îndeplinite o serie de condiții, și anume:

— raportul între lățimea b_1 liberă a tălpii și grosimea ei este mai mic decît 12;

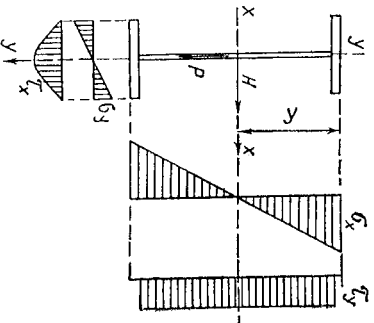


Fig. XI.12. Solicitare după două direcții.

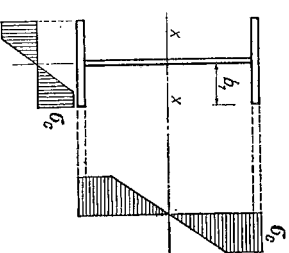


Fig. XI.13. Distribuția eforturilor unitare cu considerarea deformațiilor plastice.

— eforturile unire de forfecare τ în secțiunea în care momentul este maxim sînt sub $0,4R$;

— se păstrează un miez elastic în partea centrală a secțiunii.

Această ultimă condiție se îndeplinește în măsură suficientă pentru astfel de grinzi, dacă coeficientul k se ia egal cu

$$k = 0,5 (1 + k_1)$$

în care $k_1 = W_p/W_e$ al profilului grinzii. Pentru profile laminare valorile lui k_1 sînt date în tabelul XI.11.

Valoriile coeficienților k_1 TABELUL XI.11

Planul în care se produce încovoierea	Valoriile coeficienților k_1 pentru	
	Profile dublu T	Profile U
Înțimii	1,14	1,14
Țăpilor	1,50	1,80

În cazul unei secțiuni compuse, valoarea coeficientului k_1 se determină calculîndu-se modulul de rezistență plastic al secțiunii, a cărui valoare este

$$W_p = 2S \tag{XI.16}$$

S fiind momentul static al unei jumătăți din aria secțiunii totale, în raport cu axa $x-x$ care trece prin centrul de greutate al secțiunii (fig. XI.14).

Relația (XI.16) este evidentă: în cazul plastificării totale a unei secțiuni, datorită încovierii, axa neutră se deplasează în $x'-x'$, astfel încît împarte aria secțiunii în două părți egale (proiecția eforturilor normale este egală cu zero). Momentul static în raport cu axa ce trece prin centrul de greutate al celor două jumătăți de secțiune este egal cu zero, deci distanțele d_1 și d_2 de la centrele de greutate O_1 și O_2 ale celor două jumătăți la axa $x-x$ sînt egale.

La grinziile simple rezemate cu goluri pe înimă, secțiunea cea mai solicitată, încărcarea fiind uniform distribuită, este la o distanță x de reazem. Solicitățile în această secțiune sînt

$$M_x = \frac{ql}{2} \left(x - \frac{x^2}{l} \right) \tag{XI.17}$$

$$T_x = \frac{ql}{2} \left(1 - \frac{x}{l} \right). \tag{XI.18}$$

Într-o secțiune prin mijlocul golului în țalpi va rezulta un efort axial

$$N_x = \frac{M_x}{h_1} \tag{XI.19}$$

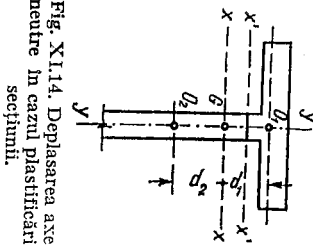


Fig. XI.14. Deplasarea axei neutre în cazul plastificării secțiunii.

În secțiunea I-I (fig. XI.15) vor rezulta următoarele eforturi unire

$$\sigma_1 = \frac{Nx}{A_1}; \quad \sigma_2 = \frac{\alpha T_x \cdot y}{2I_{x1}} \quad \text{și} \quad \tau = \frac{T_x S}{2I_{x1} t} \tag{XI.20}$$

în care: A_1 este aria secțiunii unei țalpi;

I_{x1} — momentul de inerție al unei țalpi;

y — distanța de la axa x_1-x_1 a unei țalpi la fibra cea mai solicitată;

S — momentul static al părții care alunecească la o țalpă.

Aceste solicitări sînt funcție de x ; solicitarea este maximă la distanța x , unde derivata efortului unier $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ va fi egală cu zero.

$$\frac{d\sigma}{dx} = 0. \tag{XI.21}$$

Nu este indicată folosirea acestor tipuri de bare ca grinzi continue pe mai multe reazeme.

3. LEGĂTURA DINTRE ÎNIMĂ ȘI TALPĂ

În urma încovierii grinzii, între țalpi și inimă apar tendințe de alunecare (fig. XI.16); valoarea efortului de alunecare pe centimetrul lungime de grindă este

$$L = \frac{TS}{I_x}. \tag{XI.22}$$

În general se poate înlocui S/I_x cu $1/h_1$.

La grinziile sudate, prinderea inimii de țalpă se face cu suduri continue, mai rar întrerupte (fig. XI.17); folosirea sudurilor întrerupte nu este indicată la grinziile solicitate dinamic, deoarece se produce stări de eforturi defavorabile, cu virfuri de eforturi.

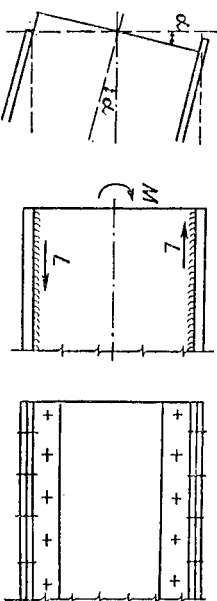


Fig. XI.16. Prinderi între țalpă și inimă.

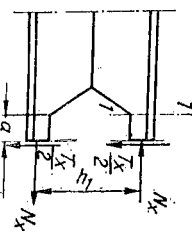


Fig. XI.15. Elemente pentru calculul grinzilor cu goluri.

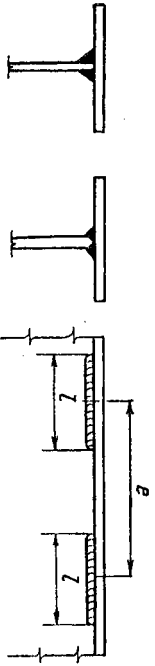


Fig. XI.17. Suduri de prindere a tălpilor de inimă.

În cazul prinderii cu sudură de colț continuă, verificarea sudurilor se face cu relația

$$\tau = \frac{T}{2ah_t} \leq 0,70 R. \quad (\text{XI.23})$$

Pentru suduri în K relația de verificare este

$$\tau \leq \frac{T}{h_t t_t} \leq 0,60 R \quad (\text{XI.24})$$

în care h_t și t_t sînt înălțimea și grosimea inimii.

În general nu este necesară verificarea sudurilor în K dintre inimă și talpă, dimensionarea grinzii asigurînd și rezistența sudurii.

Cînd legătura este făcută cu suduri de colț întrerupte, unei perechi de cordoane îi revine un efort de alunecare

$$L = \frac{Tc}{h_t} \quad (\text{XI.25})$$

e fiind distanța între axele cordoanelor de sudură.

Relația de verificare este

$$\tau = \frac{Te}{2ah_t l} \leq 0,70 R. \quad (\text{XI.26})$$

în care l este lungimea de calcul a sudurii.

Este recomandabil ca dimensiunea cordoanelor de sudură a să fie cît mai mică; dimensiunea minimă este $0,35 t_t$ sau 4 mm .

Cînd pe talpa grinzii este aplicată o forță concentrată P , în sudura de colț apare un efort de alunecare τ_1 din încovoiere și altul τ_2 , rezultat din forța P (fig. XI.18), a cărei valoare este $P/2a$; relația de verificare este

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \leq 0,70 R. \quad (\text{XI.27})$$

Dacă legătura este făcută cu suduri în K nu este necesară verificarea sudurilor.

În dreptul forțelor concentrate mari aplicate la talpa superioară este recomandabil să se prevadă pe inimă rigidizări transversale.

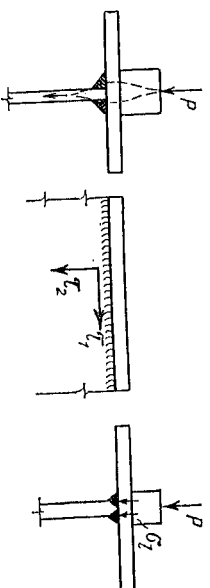


Fig. XI.18. Solicitari cînd sînt și forțe concentrate.

O problemă asemănătoare se pune și la înădrirea în lung a inimilor grinzilor; sudura continuă a acestor înădri se calculează ca orice element făcînd parte din inimă, folosind relațiile

$$\tau = \frac{TS}{I_z t_t} \leq 0,60 R \quad (\text{XI.28})$$

și

$$\sigma_{\text{calc}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R \quad (\text{XI.29})$$

în care σ și τ sînt determinate pentru fibra situată la distanța y de axa neutră, distanță la care se găsește cordoul de sudură.

La grinzile niteuite legătura între talpă și inimă se face cu ajutorul cordonelor tălpilor prin niteuri așezate pe un rînd, în zigzag sau chiar pe două rînduri, cînd este necesar (fig. XI. 19).

Efortul de alunecare care revine unui nit, cînd nu sînt forțe concentrate pe talpă și niteurile sînt pe un rînd sau în zigzag, este

$$N_1 = \frac{Te}{h} \leq N_n. \quad (\text{XI.30})$$

Cînd pe talpa superioară sînt forțe concentrate niteurile se încarcă și cu eforturi verticale de la forța P , care se transmit repartizate pe distanța λ . Din această solicitare unui nit îi revine

$$N_2 = \frac{Pe}{\lambda} \text{ sau } N_2 = \frac{Pe}{2\lambda} \quad (\text{XI.31})$$

după cum în secțiune este un nit sau sînt două niteuri.

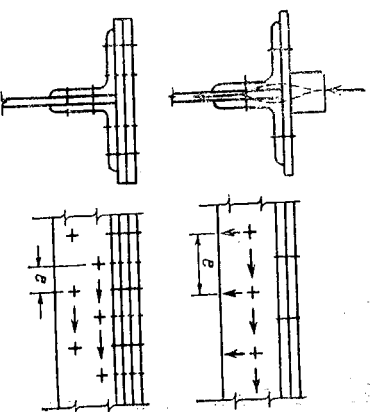


Fig. XI.19. Solicitarea grinzilor niteuite.

În general, încărcarea care revine unui nit este

$$N = \sqrt{N_1^2 + N_2^2} = e \sqrt{\frac{T^2}{h^2} + \frac{P^2}{\lambda^2}} \leq N_n \quad (\text{XI.32})$$

Efortul capabil al unui nit se determină din condiția de forfecare sau presiune pe găură, luându-se valoarea cea mai mică.

Din relațiile (XI.30) și (XI.32) se determină distanța e între nituri. Această distanță este cu atât mai mică cu cât forța tăietoare T este mai mare; spre reazemele grinzii distanțele e pot rezulta mai mici decât distanțele minime admise. În asemenea cazuri se așază niturile în zigzag sau pe două rânduri. Spre mijlocul grinzii distanțele e pot rezulta mai mari decât cele maxime admise; se vor lua distanțe egale cu distanțele maxime admise pentru solidari-zarea pieselor comprimate, adică $8d$ sau $12t$.

Pe o aceeași grindă nu se modifică distanțele e de multe ori; plecând de la distanța minimă rezultată, pe porțiuni de grindă se prevăd 2—3 distanțe diferite, până se ajunge la distanța maximă.

În cazul unor grinzi cu tălpi dezvoltate, eforturile de alunecare sînt mari și legătura se realizează greu, deosebi din cauza presiunilor mari pe pereții țigii niturilor; în asemenea cazuri se prevăd unele plăci pe inimă (fig. XI.20).

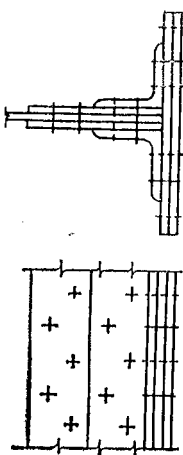


Fig. XI.20. Legătura inimii la grinzile mari.

Marginea inimii nu este indicat să iasă deasupra marginilor cornierelor, astfel încît talpa grinzii să rezeme în partea centrală direct pe inimă; se poate forma aici o suprafață locală de rezemare încoioasă, defavorabilă pentru buna legare a tălpiilor de inimă (fig. XI.21). Pe de altă parte, pentru a se asigura rezemarea continuă a tălpii pe inimă, marginile inimii trebuie prelucrate foarte îngrijit, ceea ce nu se obține ușor. Pentru aceste motive, în practică se preferă ca marginea inimii să se păstreze ceva mai jos, cu 1—2 mm sub fețele cornierelor.

În cazul cînd s-ar folosi rezemarea tălpii pe inimă, partea din forța P care se transmite prin niturile de gît se reduce la 0,40 P , considerîndu-se că 60% din P se transmite direct la inimă.

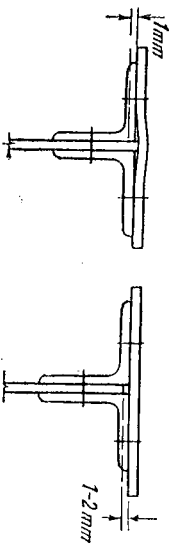


Fig. XI.21. Așezarea tălpii față de inimă.

4. STABILITATEA ELEMENTELOR ÎNCOVUIATE

a. Stabilitatea generală

O grindă simplu rezemată la capete, avînd legături care împiedică răsucirea acestora, sub încărcarea verticală se încovoie; dacă rigiditatea grinzii la răsucire este insuficientă, aceasta se poate răsuci pe distanța între reazeme, tălpile încovoindu-se lateral. Se produce ceea ce se cheamă flambașul lateral al barei încovoiate. Fenomenul este complex și este influențat de condițiile de rezemare ale barei, de modul de distribuție al încărcării pe bară și de poziția încărcării față de axa neutră longitudinală; în relațiile de calcul intervine și rigiditatea la răsucire a barei.

În general nu apare fenomenul de flambaș lateral dacă talpa superioară este legată de alte elemente stabile, ca planșee sau contravînturi. O grindă poate avea unele legături din distanță în distanță, fixate de alte elemente, astfel ca punctele de legătură să fie considerate fixe; în acest caz se pune problema flambașului lateral pe distanța dintre două legături.

Este recomandabil ca dimensiunile grinzilor încovoiate să fie alese astfel încît să nu apară fenomenul de flambaș lateral la grinda în ansamblul ei; cînd o asemenea soluție devine nerațională se iau măsuri de fixare laterală.

Nu este necesară o verificare de stabilitate, dacă distanța între legături este mai mică decât $50 i_y$, i_y fiind raza de inerție a secțiunii tălpii comprimate în raport cu axa $y-y$ a grinzii.

Cînd $l_1 > 40 i_y$, în mod acoperitor se poate face verificarea cu relația

$$\frac{\sigma}{\varphi_y} = \frac{M_c}{\varphi_y W_x} \leq R \quad (\text{XI.33})$$

în care: φ_y este coeficientul de flambaș al tălpii comprimate în raport cu

axa $y-y$, corespunzător lunginii l_1 ;

M_c — momentul încovoietor maxim de pe porțiunea considerată; cînd momentul variază liniar pe lungimea l_1 , la capete

fiînd M_1 și M_2 , momentul $M_c = \frac{M_1 + M_2}{2}$, dar nu mai puțin ca $M_1/2$, M_1 avînd valoarea cea mai mare.

b. Voalarea inimii

Inimile grinzilor supuse la încovoiere își pierd stabilitatea deformaîndu-se lateral, dacă eforturile unitare σ și τ depășesc anumite valori, numite *rezistențe critice de voalare*. Fenomenul este complex și depinde de felul și modul de variație al eforturilor unitare din inimă, de legăturile inimii cu tălpile și de dimensiunile inimii. În fig. XI.22 este arătată o formă de voalare a unei inimii.

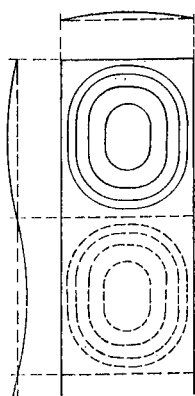
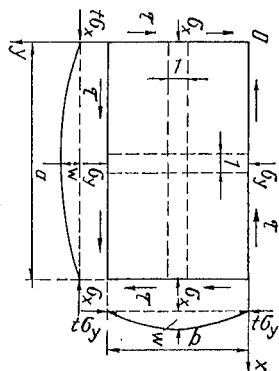


Fig. XI.22. Voalarea unei inimi.

Fig. XI.23. Placă supusă la eforturi unitare σ și τ pe contur.

Teoretic, rezistența critică de voalare rezultă din următoarele considerații.

O placă cu laturile a și b , cu grosimea t constantă, articulată pe margini și supusă pe contur la eforturile unitare σ_x , σ_y și τ , se va deforma lateral (fig. XI. 23), când aceste eforturi unitare vor atinge o valoare critică.

Ecuația suprafeței medii deformată este:

$$\frac{E t^3}{12(1 - \mu^2)} \left[\frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 w}{dy^4} \right] + t \sigma_x \frac{d^3 w}{dx^3} - 2t\tau \frac{d^2 w}{dx dy} + t \sigma_y \frac{d^2 w}{dy^2} = 0. \quad (\text{XI. 34})$$

În cazul când placa este supusă numai la eforturile unitare σ_x , relația (XI. 34), devine

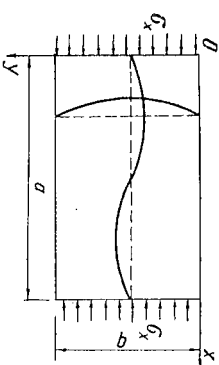
$$\frac{E t^3}{12(1 - \mu^2)} \left[\frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 w}{dy^4} \right] + t \sigma_x \frac{d^2 w}{dx^2} = 0 \quad (\text{XI. 35})$$

Soluția particulară a acestei ecuații diferențiale este

$$w = w_m \sin \frac{m\pi x}{a} \cdot \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (\text{XI. 36})$$

în care: w_m este deplasarea transversală maximă a unei semiunde;

m — numărul de semiunde în direcția x ;
 n — numărul de semiunde în direcția y (fig. XI. 24).

Fig. XI.24. Placă supusă la eforturi unitare σ_x .

Introducând valoarea w în (XI. 35) se obține

$$\frac{E t^3 \pi^4}{12(1 - \mu^2)} \left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right]^2 - \sigma_x t \pi^2 \frac{m^2}{a^2} = 0 \quad (\text{XI. 37})$$

sau

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E t^3}{12(1 - \mu^2) b^2} \left(\frac{mb}{a} + n^2 \frac{a}{mb} \right)^2. \quad (\text{XI. 38})$$

Valoarea minimă este când $n = 1$, adică atunci când în sens transversal se produce o singură undă, astfel că

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E t^3}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \left(\frac{mb}{a} + \frac{a}{mb} \right)^2. \quad (\text{XI. 39})$$

Această expresie se poate pune sub forma

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 = 189,8 k \left(\frac{t}{b} \right)^2 10^4 \text{ daN/cm}^2. \quad (\text{XI. 40})$$

În această formă relația este generală; numai factorul k variază după încălzire, după raportul laturilor și după condițiile de rezemare.

În cele ce urmează se dau valorile coeficientului k pentru unele cazuri curente.

Placa supusă la compresime simplă, cu laturile a și b articulate pe contur, are coeficientul de voalare k egal cu

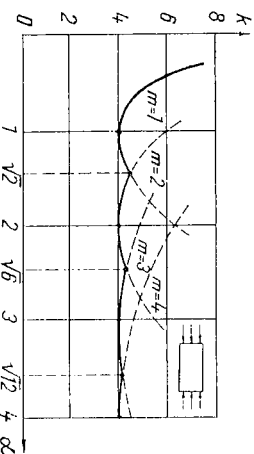
$$k = \left(\frac{\alpha}{m} + \frac{m}{\alpha} \right)^2 \quad (\text{XI. 41})$$

α fiind egal cu raportul laturilor a/b , iar m numărul semiundelor.

Valoarea minimă a lui k , produsul celor doi termeni fiind constant, este când $\frac{\alpha}{m} = \frac{m}{\alpha}$, adică $\alpha = m$. În fig. XI. 25 sînt arătate curbele de variație ale coeficientului k pentru $m = 1, 2, 3$ etc., adică pentru una, două, trei etc. semiunde.

Pentru $\alpha \geq 1$ se poate lua în calcule $k = 4$; pentru $\alpha < 1$ valorile lui k se determină cu relația (XI. 41).

Valoarea coeficientului k se schimbă dacă se modifică condițiile de rezemare; pentru diferite rezemări ale laturilor a , valorile lui k sînt:

Fig. XI.25. Curbele k pentru $\sigma_x = \text{const}$.

laturile a articulate
 o latură a articulată, alta încastrată
 laturile a încastrate
 o latură a încastrată, alta liberă
 o latură a articulată, alta liberă

$k = 4,00$
 $k = 5,44$
 $k = 7,00$
 $k = 1,28$
 $k = 0,426$

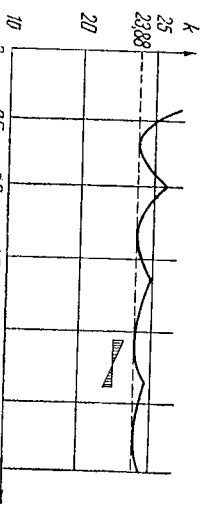


Fig. XI.26. Curbele k pentru încoviere simplă.

Placa supusă la încoviere simplă, articulată pe contur, are valorile k în funcție de α , conform diagramei din fig. XI. 26 valoarea minimă pentru $\alpha \geq 2/3$ fiind 23,88.

Pentru $\alpha < 2/3$ se ia ca te lua $k = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha} + 8,6 \alpha^2$.

Pentru diferite moduri de rezemare valorile k sînt

laturile a articulate
 laturile a încastrate
 o latură a articulată, alta articulată, după cum efortul unitar de compresune este spre latură încastrată sau spre latură articulată

$k = 23,88$
 $k = 39,52$
 $k = 39,52$
 $k = 23,94$

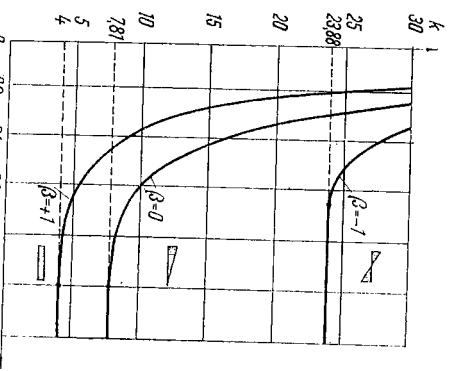


Fig. XI.27. Curbele k pentru compresune excentrică.

Placa comprimată excentric, articulată pe contur, supusă numai la eforturi unitare normale σ date de compresune excentrică, are coeficientul k în funcție de variația eforturilor unitare σ și a raportului β .

Eforturile unitare σ variază între σ_1 și $\sigma_2 = \beta \sigma_1$, β fiind un coeficient cu orice valoare între -1 și $+1$; cînd $\beta = -1$ solicitarea este de încoviere simplă și cînd $\beta = +1$ solicitarea este de compresune pură.

Valorile coeficientului k sînt date în fig. XI.27 pentru diferite valori β , placa fiind articulată pe contur.

Pentru alte legături pe contur, valorile lui k se modifică; astfel, de exemplu, în cazul $\beta = 0$ valorile k sînt:

laturile a articulate $k = 7,81$
 laturile a încastrate $k = 13,54$

o latură a încastrată și alta articulată după cum efortul unitar de compresune este spre încastrare sau spre articulație
 o latură a încastrată și alta liberă

$k = 11,73$
 $k = 9,54$
 $k = 5,91$

Placa supusă la forfecare voalează pentru eforturi de forfecare date de relația

$$\tau_{\sigma} = 189,8 k \left(\frac{l}{b}\right)^2 \cdot 10^4 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{XI.42})$$

Valorile lui k pot fi determinate cu relațiile

$$\alpha \geq 1, \quad k = 5,34 + \frac{4,0}{\alpha^2};$$

$$\alpha < 1, \quad k = 4,0 + \frac{5,34}{\alpha^2}.$$

Pentru plăciile cu legături rigide pe contur, valorile k se măresc; în fig. XI. 28 sînt reprezentate curbele k pentru o placă încastrată pe contur și pentru o placă articulată.

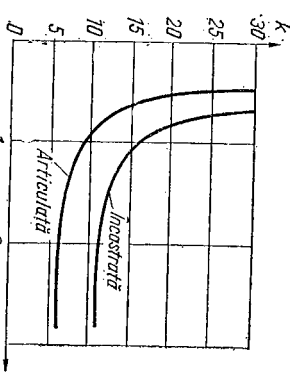


Fig. XI.28. Curbe k pentru forfecare.

Obșnuit imediat sînt supuse în același timp la diferite solicitări, care produce o stare de eforturi plană.

Rezistența critică de voalare σ_{cr} este în acest caz mai mică decît rezistența critică σ_{cr} corespunzătoare cazului cînd fiecare solicitare ar acționa separat.

Experiențele arată că este posibil să se stabilească unele reguli simple între acțiunea simultană a mai multor solicitări și acțiunea lor separată.

Aceste legături sînt suficiente de bine studiate pentru cazurile curente.

Placă articulată pe contur supusă la eforturile unitare σ_x și σ_y uniform distribuite pe laturile respective; fiecare din rapoartele $\sigma_{xcr}/\sigma_{xcr}^0$ și $\sigma_{ycr}/\sigma_{ycr}^0$ este mai mic decît 1. Curbele care leagă rapoartele rezistențelor critice depind de α (fig. XI. 29); în cazul particular $\alpha = 1$, legătura este o dreaptă de forma

$$\frac{\sigma_{xcr}}{\sigma_{xcr}^0} + \frac{\sigma_{ycr}}{\sigma_{ycr}^0} = 1. \quad (\text{XI. 43})$$

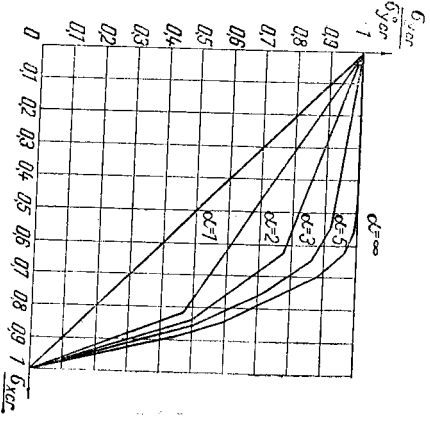


Fig. XI.29. Curbe $\sigma_{xcr}/\sigma_{xcr}^0 - \sigma_{ycr}/\sigma_{ycr}^0$.

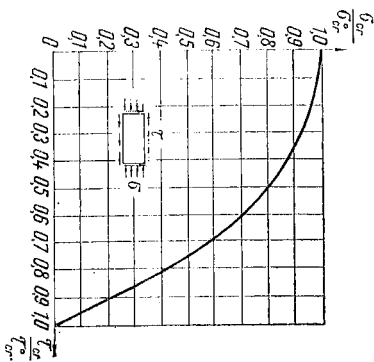


Fig. XI.30. Curba $\sigma_{cr}/\sigma_0^{cr} - \tau_{cr}/\tau_0^{cr}$.

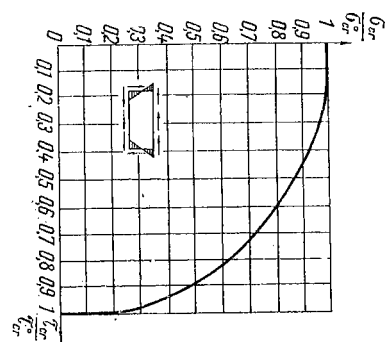


Fig. XI.31. Variația rezistenței critice pentru incovoiere și forfecare.

Relația (XI. 43) poate fi folosită curent în practică pentru valori α aproape de 1.

Placă cu solicitări σ uniforme și τ ; curba $\sigma_{cr}/\sigma_0^{cr}$ în funcție de τ_{cr}/τ_0^{cr} variază puțin cu α (fig. XI.30). Curba prezintă o variație dată de relația

$$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_0^{cr}} + \left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_0^{cr}} \right)^2 = 1. \quad (XI. 44)$$

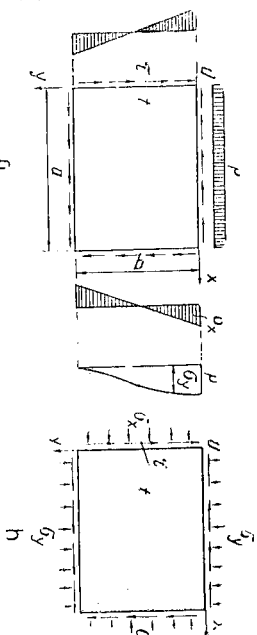
Placă supusă la eforturi unitare σ din incovoiere și τ ; relația între $\sigma_{cr}/\sigma_0^{cr}$ și τ_{cr}/τ_0^{cr} este reprezentată prin curba din fig. XI.31 și depinde foarte puțin de α . Se poate folosi formula

$$\left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_0^{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_0^{cr}} \right)^2 = 1. \quad (XI. 45)$$

Placă cu solicitări σ_x, σ_y și τ (fig. XI. 32) poate avea încălcări σ_y pe o latură sau pe ambele laturi. În primul caz (fig. XI.32, a) se poate folosi relația

$$\left(\frac{\sigma_{xcr}}{\sigma_{x0}^{cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_0^{cr}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_0^{cr}} \right)^2 = 1 \quad (XI.46)$$

Fig. XI.32. Placi cu eforturi unitare σ_x, σ_y și τ .



iar în cazul al doilea (fig. XI. 32, b) relația

$$\frac{\sigma_{xcr}}{\sigma_{x0}^{cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_0^{cr}} + \left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_0^{cr}} \right)^2 = 1. \quad (XI. 47)$$

c. Asigurarea stabilității inimilor grinziilor

Inimile grinziilor înalte și subțiri își pierd stabilitatea, adică pot voala, înainte ca grinda să-și fi pierdut capacitatea portantă. În scopul de a le asigura stabilitatea necesară, inimile grinziilor se rigidizează.

Fixarea unor rigidizări pe o placă supusă la solicitări în planul ei are ca efect ridicarea punctului critic de stabilitate.

Admițind pe o placă cu lungimea a , lățimea h și grosimea t , articulată pe contur, o rigidizare simetrică, cu momentul de inerție I_r , se pot analiza consecințele acestei rigidizări. Placa fără rigidizare, $I_r = 0$, va voala la valoarea σ_{cr} a efortului unitar ca în fig. XI. 33, a. Pe măsură ce se îmbunătățește rigidizarea, valoarea efortului unitar critic σ_{cr} se mărește și se ajunge la un moment dat că placa nu mai poate antrena rigidizarea la deformare și aceasta rămâne neutilizată; placa va voala conform schemei din fig. XI. 33, b. Efortul unitar critic σ_{cr} corespunzător acestei situații poate fi determinat, fiind cel care corespunde unei plăci cu lungimea $a/2$ și lățimea h_0 .

Rigiditatea relativă a unei rigidizări se notează cu γ ; valoarea rigidității relative γ este

$$\gamma = \frac{12EI_r(1 - \nu^2)}{h_0 E t^3} = \frac{10,92 I_r}{h_0^3 t}. \quad (XI. 48)$$

Reprezentînd într-o diagramă (fig. XI. 33, c) valoarea efortului unitar σ_{cr} de voalare în funcție de rigiditatea relativă γ , se vede că placa care la început, fără rigidizare, voala la o rezistență critică corespunzătoare punctului A, fără rigidizare, voala la o rezistență critică corespunzătoare punctului A, pe măsură ce γ crește este capabilă să suporte solicitări mai mari fără să voaleze și să se atingă valoarea maximă σ_{cr}^* pentru o rigiditate relativă γ^* . Mai departe, dacă rigiditatea γ crește, placa voalează tot în două semineunde.

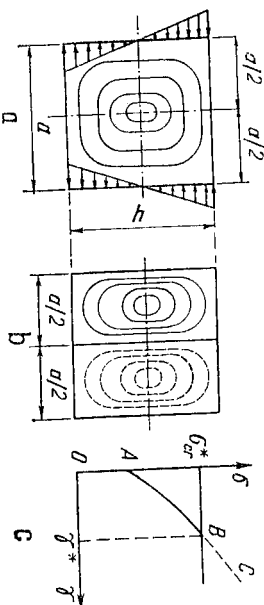


Fig. XI.33. Rigidizarea plăcilor.

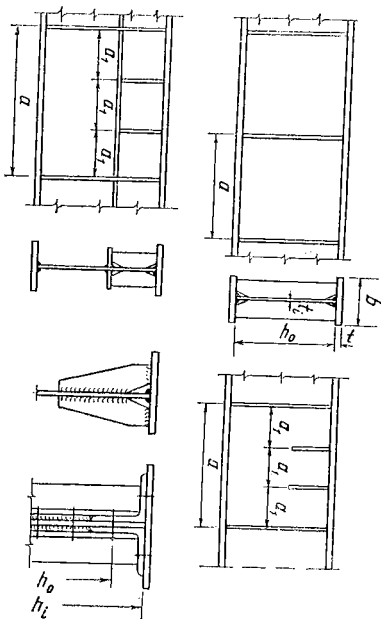


Fig. XI.34. Rigidizarea inimii.

Oricât s-ar mări rigiditatea relativă γ^* , σ_{cr} nu mai crește; γ^* caracterizează deci rigiditatea relativă strict necesară.

În practică, inimile grinzilor se rigidizează cu:

- rigidizări transversale, așezate din distanță în distanță pe toată înălțimea inimii;
- rigidizări transversale pe toată înălțimea inimii și rigidizări intermediare scurte, așezate în zona comprimată; rigidizări scurte sudeate este indicat să nu se folosească decât dacă sînt și rigidizări longitudinale;
- rigidizări transversale pe toată înălțimea inimii și rigidizări longitudinale, așezate în zona comprimată a inimii (fig. XI.34).

Rigidizări transversale pe toată înălțimea inimii este necesar să fie prevăzute cel puțin pe reazeme și în punctele unde sînt forțe mari concentrate; pe restul grinzii nu este necesar să fie prevăzute rigidizări dacă $\frac{h_0}{t_i} \leq 110 \sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}$, când nu există eforturi unitare σ_t și $\frac{h_0}{t_i} \leq 80 \sqrt{\frac{24}{\sigma_c}}$ dacă există și σ_t ; în aceste formule σ_c este limita de curgere a oțelului din care este cutată grinda, iar t_i și h_0 dimensiunile conform fig. XI. 34.

Verificarea inimii la voalare se face cu relații corespunzătoare modului de solicitare.

În cazul încovierii simple, în panourile în care nu există eforturi unitare τ , verificarea se face cu relația.

$$\sigma \leq \sigma_{cr} \quad (\text{XI.49})$$

efortul unitar σ din încoviere, la marginea comprimată a inimii, fiind determinat cu valoarea momentului din mijlocul panoului care se verifică.

Rezistența critică de voalare σ_{cr} este

$$\sigma_{cr} = 189,8 k \left(\frac{t_i}{h_0} \right)^2 10^4 [\text{daN/cm}^2] \quad (\text{XI.50})$$

Valoarea coeficientului k pentru încoviere simplă, inima fiind considerată legată articulat de tălpi este egală aproximativ $k \approx 24$; legătura între inimă și tălpi prezintă însă o oarecare rigiditate, cu atât mai mare cu cît raportul $\frac{b}{h_0} \left(\frac{t_i}{t_j} \right)^3$ este mai mare decît 0,8. Pentru cazurile obișnuite în practică se poate admite pentru k valoarea 37, astfel că relația (XI.50) devine

$$\sigma_{cr} = 7\,000 \left(\frac{t_i}{h_0} \right)^2 10^4 [\text{daN/cm}^2] \quad (\text{XI.51})$$

În cazul unor grinzi nesimetrice, cu talpa comprimată mai dezvoltată (fig. XI. 35) și care au numai rigidizări transversale, valoarea rezistenței critice σ_{cr} se determină cu relația (XI.51), înlocuindu-se h_0 cu $2e$.

La grinzile care au și o rigidizare longitudinală (fig. XI.36), panoul dintre rigidizarea longitudinală și talpa comprimată se verifică de asemenea cu relația (XI.49) în care eforturile unitare σ au distribuția din fig. XI. 36. Efortul unitar σ_t , îngră rigidizarea longitudinală are valoarea:

$$\sigma_t = \sigma \left(1 - \frac{2h_i}{h_0} \right). \quad (\text{XI.52})$$

Întrind seama de această distribuție și de valorile pe care le are coeficientul k în funcție de modul de distribuție, se poate admite, pentru cazurile obișnuite, să se ia

$$\sigma_{cr} = \frac{1\,000}{1 - \frac{h_i}{h_0}} \left(\frac{t_i}{h_i} \right)^2 10^4 [\text{daN/cm}^2]. \quad (\text{XI.53})$$

În panourile în care există numai eforturi unitare τ , verificarea la voalare se face cu relația

$$\tau \leq \tau_{cr} \quad (\text{XI.54})$$

în care $\tau = T/h_0 t_i$, T fiind forța tăietoare din panoul ce se verifică; rezistența critică la voalare este dată de relația

$$\tau_{cr} = \left(1\,250 + \frac{950}{\alpha^2} \right) \left(\frac{t_i}{d} \right)^2 10^4 [\text{daN/cm}^2]. \quad (\text{XI.55})$$

Această relație rezultă din (XI.42), valorile coeficientului k fiind seama și de influența rigidității în legătură dintre inimă și tălpi; coeficientul α este raportul dintre latura mare și cea mică a panoului, iar d este latura mică.

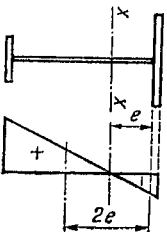


Fig. XI. 35. Grindă nesimetrică.

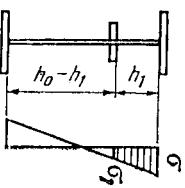


Fig. XI. 36. Grindă cu rigidizare longitudinală.

În panourile în care sînt eforturi unitare σ și τ din încoviere simplă, grinda avînd numai rigidizări transversale, conform relației (XI.45), venită carea se face cu formula

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1,0 \quad (\text{XI.56})$$

în care σ , τ , σ_{cr} și τ_{cr} au valorile determinate după cum s-a arătat mai înainte. În cazul grinzilor încoviate, cu secțiuni simetrice, avînd și rigidizări longitudinale, în panourile în care sînt eforturi unitare σ și τ , verificarea inimii dintre talpa comprimată și rigidizarea longitudinală se face cu relația

$$\sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 1,0 \quad (\text{XI.57})$$

în care σ_{cr} se ia conform relației (XI.53) și τ_{cr} conform relației (XI.55) în care se introduc dimensiunile a și h , ale panoului care se verifică.

Un fenomen de pierdere a stabilității, asemănător celui de la barele comprimate, poate apărea și la tălpile comprimate ale barelor încoviate. Pentru a se împiedica acest fenomen, lățimea liberă a părții comprimate, în atara inimii sau între inimi, la secțiunile cu pereți dubli, trebuie să satisfacă condițiile:

$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{24}{\sigma_c}} \quad \text{la secțiunile cu o inimă și} \quad (\text{XI.58})$$

$$\frac{b}{t} \leq 45 \sqrt{\frac{24}{\sigma_c}} \quad \text{la secțiunile cu două inimi.} \quad (\text{XI.59})$$

În diferite lucrări și descripții de calcul, pentru verificarea la voalare, se dau formule care iau în considerare moduri variate de solicitare a inimii și valori pentru coeficienții k , ce țin seama de diferite influențe.

5. RIGIDIZĂRI

Rigidizările cu care se întăresc inimile grinzilor au scopul de a împărți inima în porțiuni ale căror lățimi să rămînă practice în planul inițial în tot timpul cît grinda este solicitată; în asemenea condiții, inima grinzii împărțită de rigidizări și tălpile grinzii în panouri poate voala numai în condiții obligate de dimensiunile panoului, de felul legăturilor pe contur și de natura solicitărilor.

Desigur că rigidizările nu sînt riguros rigide; ele pot avea unele defor-mații inițiale și se deformează într-o măsură oarecare cînd grinda este încercată. Se presupune însă că rigiditatea la încoviere laterală a rigidizărilor este suficientă ca ele să nu fie antrenate de placă în timpul voalării acestora.

Un anumit tip de rigidizare are o eficacitate limitată, ceea ce rezultă și din analiza valorilor pe care le iau rezistențele critice de voalare în diferite cazuri. În general, rigidizările transversale sînt eficiente în zonele în care efor-

turile unitare τ sînt mari, iar cele longitudinale în zonele în care predomină eforturi unitare σ . Rigidizările scurte la o grindă încoviată pot avea o eficacitate numai la talpa pe care sînt aplicate direct încălcări transversale grinzii.

Alcătuirea și așezarea rigidizărilor rezultă din rolul pe care acestea îl au de îndeplinit. Rigidizările pot fi împărțite în rigidizări care iau și transmit încălcări și în rigidizări care asigură inima contra voalării la valori neadmise ale sarcinilor critice.

Primele se așază în dreptul unor încălcări concentrate fixe sau în locurile unde se transmit prin diferite legături acțiuni locale asupra grinzii pe tălpi sau direct pe inimă. Rigidizările de pe reazemele grinzilor intră în această categorie.

Rigidizările transversale, așezate pe toată înălțimea inimii, pot fi la distanțe egale sau la distanțe diferite, după necesitate (fig. XI.37).

Distanța a între rigidizări rezultă din condiția de a asigura inima contra voalării.

Așezarea la distanțe prea mici a rigidizărilor transversale nu este economică și trebuie examinată o altă posibilitate de asigurare a stabilității inimii. Dimensiunile rigidizărilor, cînd pe inima grinzii sînt numai rigidizări transversale, trebuie să fie:

$$b_r \geq \frac{h_r}{30} + 40 \text{ mm} \quad \text{și} \quad t_r \geq \frac{b_r}{15}. \quad (\text{XI.60})$$

Rigidizările grinzilor sudate se alcătuiesc în general din oțel lat, mai rar din corniere (fig. XI.38). Rigidizările se taie la interior, înclinat sau curb, astfel ca sudurile care prind rigidizările de inimă și de tălpi să rămînă la o

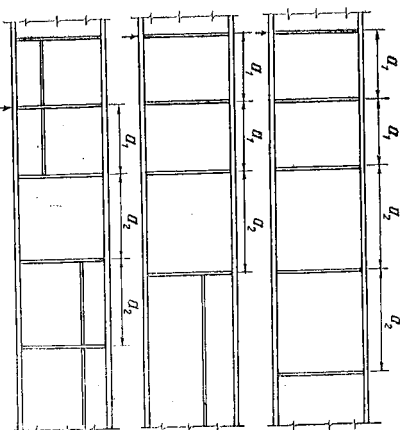


Fig. XI.37. Rigidizări transversale.

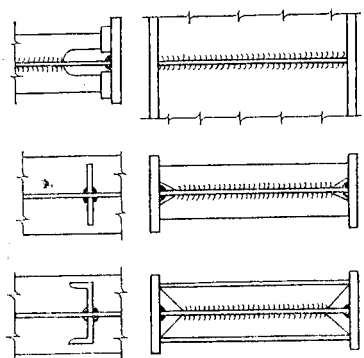


Fig. XI.38. Alcătuirea rigidizărilor grinzilor sudate.

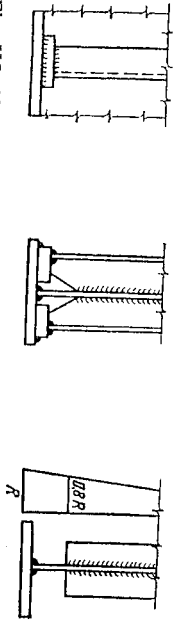


Fig. XI. 39. Măsuri pentru evitarea sudării rigidizării de talpa întinsă.

distanță oarecare de sudură care prind înima de tălpi. Rigidizarea se sudează și de tălpi la grinzi supuse la solicitări statice; la grinzi rulante, este recomandabil ca rigidizările să nu se sudeze de talpa întinsă acolo unde eforturile unitare în talpă sunt apropiate de valoarea rezistenței de calcul; se pot suda acolo unde eforturile unitare de întindere sunt mai mici decât $0,8 R$. Această măsură este necesară spre a se evita concentrațiile de eforturi și reducerea rezistenței la oboseală, pe care o provoacă sudurile transversale pe elementele întinse ale grinzii.

Pentru aceleași motive, la grinzi supuse la încălziri variabile, sudurile care prind rigidizările de inimă se vor opri la o distanță de talpa întinsă, unde eforturile unitare în inimă sunt suficient de reduse; se recomandă ca sudurile să nu se facă pe zona inimii, unde eforturile unitare de întindere sînt mai mari decât $0,8 R$.

În aceste cazuri, dacă este necesar, între rigidizare și talpa întinsă se introduc pene, care se sudează numai de rigidizare; asemenea măsuri sînt necesare și cînd talpa întinsă este sus și suportă direct încălziri mobile (fig. XI. 39).

Sudurile de prindere ale rigidizărilor de inimă se iau cît mai mici posibili. În cazul grinzilor ntrute rigidizările se alcătuiesc obișnuit din două corniere (fig. XI. 40), eventual așezate pe fururi. Cînd este necesar, capetele se due pînă la cornierele tălpilor și se ajustează; execuția este însă grea și scumpă. La grinzi cu tălpi dezvoltate, cornierele se pot îndoi și prinde și de tălpi.

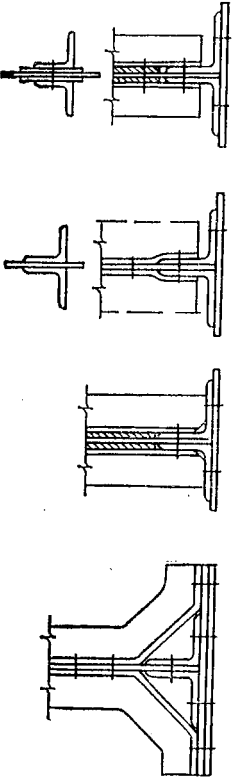


Fig. XI. 40. Rigidizări transversale la grinzi ntrute.

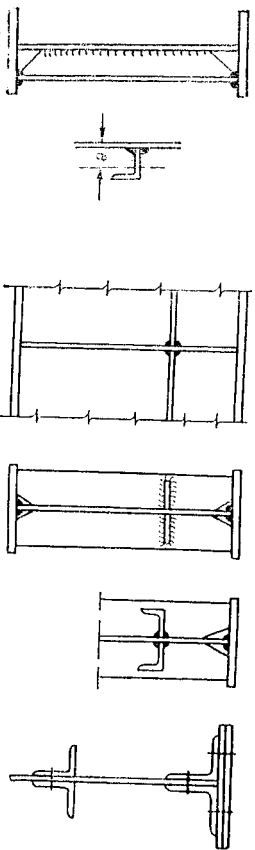


Fig. XI. 41. Rigidizare pe o parte a inimii.

Fig. XI. 42. Rigidizări longitudinale.

Rigidizările transversale pot fi așezate și numai pe o parte a inimii (fig. XI. 41). În acest caz, momentul lor de inerție se alță considerîndu-se că axa neutră a rigidizării este la fața inimii și este egală cu

$$I_r = I_1 + A_r e^2 \quad (\text{XI.61})$$

în care I_1 este momentul de inerție în raport cu axa proprie a rigidizării, A_r aria secțiunii rigidizării și e distanța de la fața inimii la axa $I-I$ a rigidizării.

Rigidizările longitudinale se așază pe inimă în zona comprimată a acesteia (fig. XI. 42). Pentru a fi eficiente, rigidizările longitudinale trebuie să aibă o anumită rigiditate. Momentul de inerție necesar rigidizărilor longitudinale se determină în funcție de raportul h_1/h_0 cu formulele din tabelul XI. 2.

TABELUL XI.2

Momentul de inerție necesar I_{r1}		
h_1/h_0	Valorile limită	
	Minime	Maxime
0,30	$1,5 h_0 I_0^3$	$7 h_0 I_0^3$
0,25	$1,5 h_0 I_0^3$	$3,5 h_0 I_0^3$
0,30	$1,5 h_0 I_0^3$	

Momentul de inerție al nervurilor transversale, cînd există și nervuri longitudinale, va avea o valoare care să satisfacă condiția

$$I_r \geq 3h_0 I_0^3 \quad (\text{XI.62})$$

Rigidizările longitudinale la grinzi sudate se alcătuiesc din oțel lat sau corniere; rigidizările transversale se fac continue; se întreprind nervurile

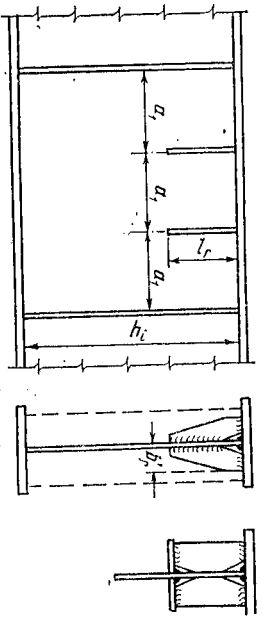


Fig. XI. 43. Rigidizări scurte.

longitudinale și se sudază de cele transversale. Este admis însă, când rigidizarea longitudinală se introduce în calculul de rezistență al grinzii, să se facă continuă și să se întreprindă rigidizările transversale, care trebuie sudate de rigidizarea longitudinală.

La grinziile nituite rigidizările longitudinale se fac din corniere sau din alte profile, după necesitate.

Rigidizările scurte intermediare, așezate în zonele comprimate, trebuie să aibă lungimea $l_r \geq 0,3 h_1$ și nu mai puțin decât $0,4 a_1$. Lățimea rigidizărilor

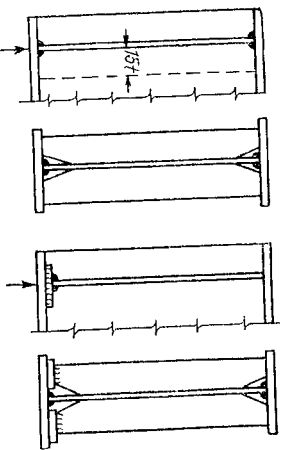


Fig. XI. 44. Rigidizări pe reazeme.

scurte se ia $b_r \geq 2b_1/3$. Când există și rigidizări longitudinale rigidizările scurte se duc până la rigidizarea longitudinală (fig. XI.43).

Rigidizările scurte sudate dau naștere la deformații și concentrări de eforturi; este indicat să se renunțe la așezarea lor ori de câte ori este posibil.

Rigidizările de pe reazemele grinzilor, pe lângă rolul de a împiedica voalarea inimii, transmit la reazeme forțe mari. Se alătură în general ceva mai puternice decât rigidizările transversale curente (fig. XI.44). La grinziile sudate rigidizările de reazeme se fac din oțel lat sau corniere sudate la ambele tălpi; la grinziile simplitu rezemate pe o deschidere, rigidizările de reazeme se așază uneori în capul grinzii, rezemarea grinzii făcându-se pe capătul rigidizării, care se prelu-

crează pentru a se asigura un contact pe toată suprafața de rezemare. Când sînt de transmis eforturi mari, între talpa inferioară și rigidizarea transversală se introduc plăci care se sudază de rigidizare și de talpa inferioară numai pe latura longitudinală.

La grinziile nituite rigidizările de reazeme se fac de obicei din patru corniere, așezate pe fururi. Cornierele rigidizării, la grinzi sollicitate puternic, se ajustează pe cornierele tălpii inferioare.

Rigidizările de reazeme se verifică, considerîndu-se ca un montanț încălecat cu reacțiunea reazemului. Secțiunea de calcul se ia egală cu secțiunea rigidizării, la care se adaugă o zonă din inimă, avînd lățimea rigidizării plus o lățime de $15 t_r$ de o parte și de alta a rigidizării; când de o parte a rigidizării este o lățime de inimă, se ia această lățime plus $15 t_r$.

Rigidizarea se verifică și la flambaj în plan perpendicular pe planul inimii; lungimea de flambaj este egală cu înălțimea inimii.

Este de asemenea necesară o verificare a transmiterii reacțiunii prin elementele de reazem. La rigidizările ajustate pe talpă, fără a fi sudate, presiunile care rezultă se compără cu rezistența de calcul sporită cu 50%; la cele sudate, sudurile de pe rigidizări și cele de pe porțiunea respectivă de inimă ($30t_r$) se calculează la întreaga reacțiune.

La rigidizările așezate în capul grinzii și care au capătul ajustat, eforturile unitare de strivire nu vor depăși $1,5 R$ cînd $a \leq 1,5 t_r$ și R cînd $a > 1,5 t_r$.

6. VERIFICAREA GRINZIILOR LA OBOSEALĂ

Grinzile supuse direct la încălziri mobile sau vibratorii, care acționează înecvent, se alătură astfel încît să se reducă la minimum concentrările de eforturi.

Rezistența la oboseală a unui material este influențată de stările de eforturi, de concentrările de eforturi și de o serie de alte cauze, care fac să coboare rezistența la oboseală a unei piese.

Între rezistența la oboseală a materialului din care se execută un element de construcție și a elementului pot fi diferențe mari, rezistența la oboseală putînd fi coborîtă prin modul de alcătuire și de execuție al piesei.

Asupra rezistenței unei piese la oboseală au deci o mare influență modul cum este alcătuită piesa, cum sînt prevăzute diferitele suduri de legătură între piese, dacă sudurile sînt prelucrate după execuție, variația secțiunii etc.

O influență importantă asupra valorii rezistenței la oboseală o au stările de eforturi remanente care se dezvoltă în piesă după sudare și concentrările de eforturi care se produc din orice cauze.

Verificarea grinzilor la oboseală se face pe baza încălzărilor normale, deoarece depășirile acestora nu se pot repeta în măsura în care ar putea produce oboseala materialului; nu se aplică încălzărilor coeficienți dinamici și nu se introduc coeficienți de pierdere a stabilității. Chiar în aceste condiții, în mod obișnuit, la construcțiile metalice încălzările normale, care sînt cele

maxime în exploatare normală, nu se pot repeta de un număr mare de ori în grupări ca cele care au servit la calculul de rezistență. Este necesar deci să se analizeze din care încălcări și din ce grupări de încălcări pot apărea eforturi maxime și minime, care s-ar repeta de exemplu de mai multe de 30 ori pe zi.

Verificarea la obosală, când este cazul, se face cu relațiile

$$\sigma \leq \gamma_0 R \quad (\text{XI.63})$$

și

$$\tau \leq 0,6 \gamma_0 R \quad (\text{XI.64})$$

în care coeficientul γ_0 este determinat conform celor arătate la cap. IV.5; dacă este cazul, se face și verificarea cu σ_{calc} , punând condiția $\sigma_{\text{calc}} \leq \gamma_0 R$.

7. SĂGEATA GRINZIILOR ÎNCOVOIAȚE

a. Verificarea săgeții

Sub acțiunea încălzirilor, grinziile supuse la încovoiere se deformează și capătă săgeți, care sînt limitate de prescripții în scopul de a se asigura o exploatare corespunzătoare necesităților.

Determinarea săgeților elementelor construcțiilor metalice încovoiate se face pe baza acțiunilor normale, fără a le majora prin multiplicare cu coeficienți dinamici.

Pentru o grindă simplă rezemată, cu secțiune constantă cu o singură deschidere, săgeata este

— încărcare uniform distribuită

$$f = \frac{5ML^2}{48EI} \quad (\text{XI.65})$$

în care $M = ql^2/8$;

— încărcare concentrată la mijlocul deschiderii

$$f = \frac{ML^2}{12EI} \quad (\text{XI.66})$$

în care $M = Pl/4$.

Ac aceste relații duc la

— grindă cu încărcare uniform distribuită

$$f = \frac{\alpha l^2}{100\,000 h} \quad \text{și} \quad (\text{XI.67})$$

— grindă cu forță concentrată la mijloc

$$f = \frac{0,8\alpha l^2}{100\,000 h} \quad (\text{XI.68})$$

în care σ este efortul unitar în daN/mm², rezultat din momentul la mijlocul grinzii.

Dacă încărcarea provine dintr-un convoi de forțe concentrate, când pe grindă încep mai mult de 3—4 forțe, săgeata dată de convoi diferă foarte puțin de aceea dată de o încărcare echivalentă uniform distribuită, astfel că se poate folosi și în acest caz formula (XI.67).

Pentru o încărcare oarecare săgeata unei grinzi încovoiate cu secțiune plină este conform teoremei Maxwell-Mohr (fig. XI.45)

$$f = \int_0^l \frac{M_x dx}{EI} m_x \quad (\text{XI.69})$$

în care M_x este momentul într-o secțiune oarecare x dat de încărcarea reală a grinzii și m_x momentul în aceeași secțiune dat de o încărcare virtuală, egală cu unitatea, aplicată în punctul unde se caută săgeata și pe direcția săgeții.

În unele cazuri este ușor să se efectueze această integrare. În alte cazuri este mai simplu să se folosească următoarea observație. $M_x dx$ exprimă o suprafață elementară din diagrama momentelor date de încălzirile reale. Termenul m_x reprezintă ordonata din dreptul acestei suprafețe din diagrama liniară a momentului dat de forța $P=1$, aplicată în punctul unde se caută săgeata. Deci $M_x dx m_x$ este produsul unei suprafețe elementare din diagrama de momente și ordonata m_x din dreptul suprafeței elementare. Pentru suprafața Oac' expresia integralei va fi produsul suprafeței Oac' cu ordonata m din dreptul centrului de greutate al acestei suprafețe și așa mai departe. Săgeata va fi o sumă de astfel de momente statice împărțită cu EI .

b. Valorile limită ale săgeților

Săgețile maxime pe care le iau elementele de construcție încovoiate nu pot depăși anumite valori, impuse de buna comportare a construcției, pentru a se evita oscilații supărătoare, fisuri în părțile de construcție pe care le susțin, pentru a se asigura funcționarea corectă a unor utilaje etc.

Pentru diferite elemente de construcție valorile săgeților sînt limitate după cum urmează:

Pane și căpriori la acoperișuri
Ferne și grinzi la acoperișuri
Grinzi principale la planșee
Grinzi secundare la planșee

$$\begin{aligned} f &\leq 1/250 \\ f &\leq 1/300 \\ f &\leq 1/400 \\ f &\leq 1/300 \end{aligned}$$

Grinzile platformelor construcțiilor industriale:

— cind susțin cai ferate înguste și nu există utilaje care ar produce vibrații	$f \leq 1/400$
— cind există cai ferate normale sau utilaje care produc vibrații	$f \leq 1/600$
Săgeata orizontală a elementelor verticale și orizontale din șarpanta peretilor	$f \leq 1/300$
Săgeata orizontală și verticală a șproșurilor geamurilor și luminătoarelor	$f \leq 1/180$
Grinzile căilor de rulare cu înălță pînă sau cu zăbrele pentru:	
— poduri rulante manuale	$f \leq 1/500$
— poduri rulante electrice cu capacitatea de ridicare sub 50 t	$f \leq 1/600$
— poduri rulante electrice cu capacitatea de 50 t și mai mare	$f \leq 1/750$
Căile de rulare ale grinzilor rulante	$f \leq 1/500$
Săgeata orizontală a grinzilor de frinare, calculată la acțiunea unui pod rulant cu capacitatea cea mai mare	$f \leq 1/400$
	$f \leq 1/2\ 000$

În cazul cînd elementele construcției se execută cu contrasăgeată, săgeata produsă de încărcarea permanentă nu se ia în considerație, dacă este egală sau mai mică decît contrasăgeata; cînd săgeata din încărcări permanente este mai mare decît contrasăgeata, se ține seama numai de diferența față de contrasăgeată.

În unele situații, impuse de condiții tehnologice, de necesitatea conservării unor lucrări, care nu trebuie să fisureze etc., săgețile maxime pot fi limitate la valori mai mici.

XII. ELEMENTE SUPUSE LA RĂSUCIRE

1. COMPORTAREA LA RĂSUCIRE

a. Răsucirea liberă și împiedicată

Fenomenele de răsucire apar la construcțiile metalice însoțite în general de alte solicitări ca compresivune, încovoiere etc. Într-o piesă lată supusă la răsucire, din cauză că fibrele nu se deformează toate la fel, apar și eforturi unitare longitudinale (fig. XII. 1). La o bară dreaptă ale cărei secțiuni de la capete, libere să se deformeze, supuse la două momente de răsucire egale și de sens contrar, momentul de răsucire M_r este constant pe toată lungimea barei și produce o strîmbare a secțiunilor; astfel că fibrele, deformatе după o elice, rămîn practic cu aceeași lungime (fig. XII. 2). Strîmbarea secțiunii se numește *deplanare*. O astfel de răsucire se numește *răsucire pură* sau *răsucire liberă*. Unghiul de răsucire pe unitatea de lungime $\theta = d\varphi/dx$ este constant pe toată lungimea axei barei. Expresia unghiului de răsucire este $\theta = M_r/GI_r$, în care I_r este momentul de inerție la răsucire.

Pentru diferite forme de secțiuni unghiurile de răsucire specifică și valorile eforturilor unitare τ rezultate din răsucire pură sînt date în cele ce urmează.

La o secțiune dreptunghiulară eforturile unitare de forfecare variază ca în fig. XII. 3.

Unghiul de răsucire pe unitatea de lungime este

$$\theta = M_r/GI_r \quad (\text{XII.1})$$

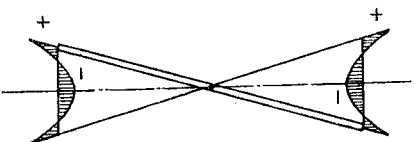
și efortul unitar de forfecare maxim

$$\tau = M_r/I_r \quad (\text{XII.2})$$

În funcție de raportul h/t , unghiurile θ și eforturile unitare de forfecare τ_{max} trebuie corectate prin înmulțirea numitorului cu coeficienții de corecție. Pentru table la care raportul h/t este mai mare decît 6, coeficientul de corecție este același pentru θ și τ și are valoarea $\alpha = 0,33$, astfel că, introducînd acest coeficient în expresia momentului de inerție la răsucire I_r , se poate scrie

$$I_r = \frac{ht^3}{3} \quad (\text{XII.3})$$

Fig. XII.1. Piese să lăță supusă la răsucire.



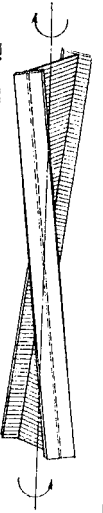


Fig. XII. 2. Răsucirea liberă a unui profil.

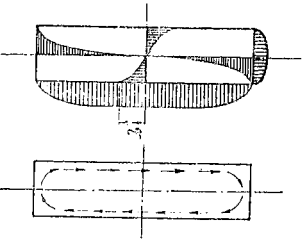
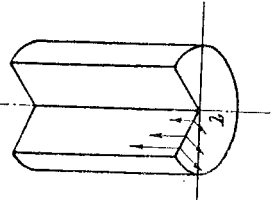
Pentru secțiuni circulare (fig. XII. 4) momentul de inerție la răsucire este

$$I_r = I_p = \frac{\pi d^4}{16} \quad (\text{XII.4})$$

și coeficientul $\alpha = 1$.

Pentru secțiuni din profile L, U sau I se consideră că fiecare dreptunghi din care se compune profilul se poate deforma ca și când nu ar exista o legătură între elemente (fig. XII. 5). Unghiul θ fiind același, rezultă

$$\theta = \frac{M_r}{GI_r} = \frac{M_r'}{GI_{sr}} = \frac{M_r''}{GI_{sr}} = \dots = \frac{M_r}{\Sigma GI_r} \quad (\text{XII.5})$$

Fig. XII. 3. Eforturi unitare τ la o secțiune dreptunghiară.Fig. XII. 4. Eforturi unitare τ la o secțiune circulară.

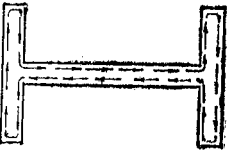
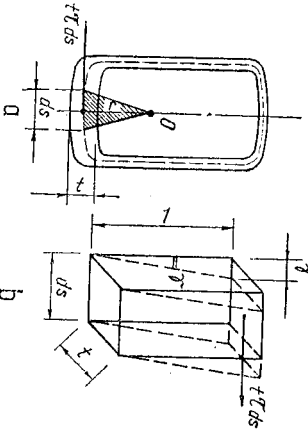
În acest caz, expresia momentului de inerție la răsucire devine

$$I_r = \frac{\alpha'}{3} (h_1^3 + h_2^3 + h_3^3 + \dots) \quad (\text{XII.6})$$

Valoarea coeficientului α' , care ține seama de racordarea dintre inimă și talpă, se ia diferită după forma profilului și anume $\alpha' = 1,0$ pentru corniere, $\alpha' = 1,1$ pentru profile U și T și $\alpha' = 1,3$ pentru profile dublu T.

Este evident că valoarea maximă a eforturilor unitare τ va fi în dreptunghiul cu grosimea t cea mai mare.

Pentru secțiuni închise cu pereți subțiri cu grosime constantă t sau variabilă, relațiile de calcul se pot deduce ușor cu unele aproximații (fig. XII. 6).

Fig. XII. 5. Eforturi unitare τ la un profil dublu T.Fig. XII. 6. Eforturi unitare τ la o secțiune închisă.

Eforturile unitare τ se consideră constante pe toată grosimea t a pereții; ele sînt dirijate după tangenta la contur. Efortul unitar pe unitatea forței $t \cdot ds$. Momentul în raport cu un punct interior O , dă:

$$t \int_0^l \tau r ds = M_r \quad (\text{XII.7})$$

Rezultă

$$\tau = \frac{M_r}{2At} \quad (\text{XII.8})$$

deoarece integrala reprezintă dublul ariei mărginită de linia mediană a conturului.

Unghiul de răsucire se deduce din egalarea lucrului mecanic exterior cu lucrul mecanic interior al unui element de lungime egală cu unitatea; $t \cdot ds$, l fiind lungimea conturului este:

$$\frac{1}{2} \int_0^l \tau t r ds \quad (\text{XII.9})$$

deoarece forța parcurge un drum egal cu r (fig. XII. 6, b). Dacă se ține seama că $r = \tau/G$, se poate scrie

$$\frac{1}{2} M_r \theta \approx \frac{1}{2} \int_0^l \tau t r ds = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{\tau^2}{G} t ds \quad (\text{XII.10})$$

Ținînd seama de relația (XII. 8) se obține

$$\frac{1}{2} M_r \theta = \frac{M_r}{4GA} \int_0^l \tau ds, \text{ deci}$$

$$\theta = \frac{1}{2GA} \int_0^l \tau ds \quad (\text{XII.11})$$

Cînd τ este constant, deci și $t = \text{constant}$, se obține

$$\theta = \frac{\tau l}{2GA} \quad (\text{XII.12})$$

Nu în toate cazurile secțiunile normale pe axa barei sînt libere să se deplaseze și momentul de răsucire este constant pe întreaga

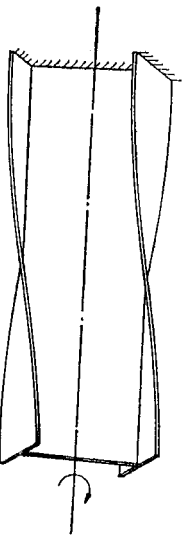


Fig. XII. 7. Răsucire neuniformă.

lungime a barei. În aceste cazuri are loc o *răsucire neuniformă* și deplasarrea secțiunilor nu mai este aceeași pentru toate secțiunile (fig. XII. 7). Din această cauză apar și eforturi unitare normale σ ,

care modifică valorile eforturilor unitare tangențiale și ale unghiului de răsucire θ .

În o serie de cazuri efectele răsucirii neuniforme sînt mici și calculul la răsucire se poate face, fără o eroare însemnată, cu relațiile de la răsucirea pură. Este cazul barelor drepte cu secțiune plină ale căror dimensiuni transversale sînt mici în raport cu lungimea și al celor cu secțiuni tubulare cu contur circular cu pereți subțiri, fără rigidizări longitudinale puternice. În cazul barelor cu secțiuni deschise, cum sînt cele în U sau dublu T, sau cu profil închis de formă dreptunghiulară, influența eforturilor unitare normale devine importantă și nu mai poate fi neglijată.

Pentru determinarea eforturilor unitare din răsucirea neuniformă s-au dezvoltat diferite teorii, unele aproximative, altele exacte.

În cele ce urmează se dă o metodă de calcul, care se aplică barelor cu pereți subțiri deschise și care se bazează pe teoria dezvoltată de V. Z. Vlasov. Se consideră că materialul este izotrop și omogen și ascultă de legea lui Hooke; grosimea pereților este mică în raport cu celelalte dimensiuni ale barei. Eforturile unitare tangențiale din răsucire pură se admit că variază liniar pe grosimea pereților și se neglijează efectul de învecare pe linia mediană a secțiunii.

Eforturile unitare normale datorite răsucirii neuniforme, notate σ_{ω} , se stabilizează pe baza deformațiilor ce se produc, considerînd că secțiunea transversală își păstrează forma; această ipoteză este exactă cînd bara are suficient de rigidez transversală.

Eforturile unitare tangențiale, produse ca urmare a răsucirii neuniforme, notate τ_{ω} , se determină dintr-o condiție de echilibru.

b. Centrul de răsucire

Răsucirea unei bare drepte cu secțiune deschisă cu pereți subțiri, de o formă oarecare, se face în jurul unei axe care trece prin centrul de răsucire (fig. XII.8).

Într-o secțiune oarecare rotirea se face deci în jurul unui punct notat cu C. Poziția acestui punct este determinată de condiții de echilibru și depinde numai de caracteristicile geometrice ale secțiunii respective.

Într-un caz general de sollicitare, în care pe lângă eforturile unitare normale σ , apar și eforturi unitare tangențiale τ , a căror valoare, stabilită după regulile cunoscute, este

$$\tau = \frac{T_x S_y}{I_y} + \frac{T_y S_x}{I_x}, \quad (\text{XII.13})$$

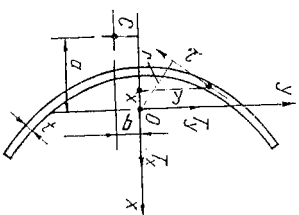


Fig. XII. 8. Centru de răsucire.

nu sînt satisfăcătoare toate condițiile de echilibru decât dacă momentul eforturilor unitare τ în raport cu centrul de greutate al secțiunii O este egal cu zero, adică

$$\int_0^s \tau t ds = 0, \quad (\text{XII.14})$$

în care s este perimetrul secțiunii.

Înlocuind relația (XII.13) în (XII.14) rezultă

$$\frac{T_x}{I_y} \int_0^s S_y r ds + \frac{T_y}{I_x} \int_0^s S_x r ds = 0. \quad (\text{XII.15})$$

Relația (XII.15) este satisfăcătoare cînd integralele sînt egale cu zero sau dacă în secțiune există un moment de răsucire M_r , egal și de semn contrar cu valoarea expresiei (XII.15), adică

$$M_r = - \left[\frac{T_x}{I_y} \int_0^s S_y r ds + \frac{T_y}{I_x} \int_0^s S_x r ds \right]. \quad (\text{XII.16})$$

Seriind momentul de răsucire sub forma

$$M_r = T_x b + T_y a \quad (\text{XII.17})$$

în care a și b sînt coordonatele punctelor C, pentru a fi satisfăcătoare condiția

$$T_x b + T_y a - \left[T_x \frac{\int_0^s S_x r ds}{I_y} + T_y \frac{\int_0^s S_y r ds}{I_x} \right] = 0 \quad (\text{XII.18})$$

oricare ar fi valorile componentelor T_x și T_y , trebuie ca

$$a = \frac{\int_0^s S_x r ds}{I_x} \quad \text{și} \quad b = \frac{\int_0^s S_y r ds}{I_y}. \quad (\text{XII.19})$$

Din fig. XII.9 se vede că $r ds$ reprezintă dublul ariei triunghiului hașurat; notînd dublul ariei acestei suprafețe cu $d\omega$ și integrînd se obține

$$\int_0^s r ds = \int_0^s d\omega = \omega. \quad (\text{XII.20})$$

Cantitatea ω se numește *coordonata sectorială* a punctului B. Coordonatele sectoriale au semnul plus cînd raza vestică, care pleacă de la axa aleasă ca origine, descrie suprafața rotîndu-se în sensul acelor de ceasornic și semnul minus cînd se rotește în sens trigonometric.

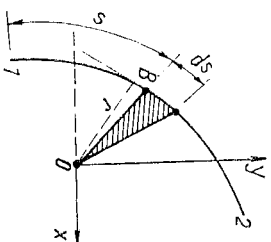


Fig. XII. 9. Coordonate sectoriale.

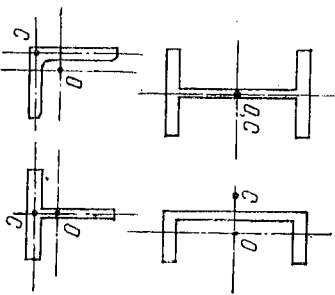


Fig. XII. 10. Centrul de rásucire la unele profile.

Integralele din relația (XII. 19) se pot efectua prin părți

$$\int_1^2 S_x d\omega = |S_x \omega|^2 - \int_1^2 \omega dS_x. \quad (\text{XII. 21})$$

Primul termen $|S_x \omega|^2$ este egal cu zero, deoarece în 1 momentul static în raport cu axa Ox este zero, iar în 2 este de asemenea zero, momentul static al secțiunii întregi fiind zero în raport cu Ox (axa Ox trece prin centrul de greutate O).

Termenul al doilea se poate pune sub forma

$$\int_1^2 \omega dS_x = \int_1^2 \omega y t ds = \int_1^2 \omega y dA. \quad (\text{XII. 22})$$

În mod analog se obține

$$\int_1^2 \omega dS_y = \int_1^2 \omega x dA. \quad (\text{XII. 23})$$

Din relațiile (XII. 19) va rezulta

$$a = \frac{\int \omega y dA}{I_x} \quad \text{și} \quad b = \frac{\int \omega x dA}{I_y} \quad (\text{XII. 24})$$

adică coordonatele punctului C , raportat la origina O a axelor Ox și Oy .

Este de observat că pentru o secțiune cu două axe de simetrie centrul de rásucire C se găsește chiar la intersecția axelor de simetrie, adică se confundă cu centrul de greutate, iar la secțiuni cu o axă de simetrie, centrul de rásucire se găsește pe această axă; la secțiuni în L sau T, centrul de rásucire se găsește la intersecția axelor ramurilor (fig. XII.10).

2. DETERMINAREA EFORTURILOR UNITARE

a. Eforturile unitare σ_w și τ_w

Diferitele secțiuni ale unei bare se roteesc în jurul unei axe care trece prin punctul C și care este paralelă cu axa grinzii. Ca urmare a acestei rotații secțiunea se deplasează și un punct oarecare n de pe axa mediană a secțiunii se va deplasa față de o secțiune vecină, situată la distanța dx , și va ajunge în n' , ieșind din planul normal pe axa barei (fig. XII. 11).

Dezind prin n trei axe: nx paralelă cu axa barei, ny tangentă la fibra medie a secțiunii și nz normală pe planul xny , se pot exprima cele trei componente ale deplasării mn' , corespunzătoare acestor axe. Aceste componente

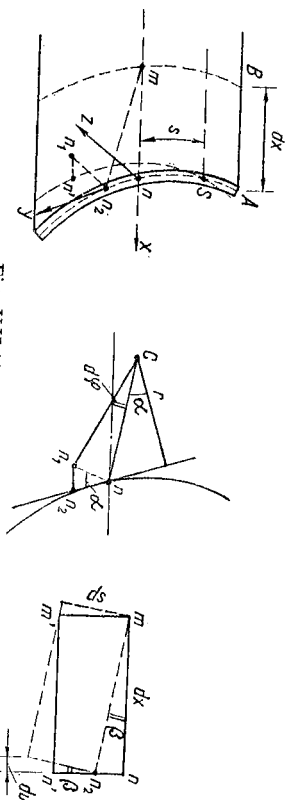


Fig. XII.11. Componentele deplasării.

sunt: mn_2 după tangenta ny , n_1n_2 după normala nz și n_1n' după axa barei. Componentele mn_2 și n_1n_2 sînt în planul ymz , normal pe axa barei și dau deplasarea mn_1 a punctului n în acest plan.

Deplasarea mn_1 , care rezultă în urma rotației secțiunii A față de secțiunea B în jurul punctului C cu unghiul $d\varphi$ este

$$mn_1 = Cn d\varphi. \quad (\text{XII. 25})$$

Componenta mn_2 este

$$mn_2 = mn_1 \cos \alpha = Cn \cos \alpha d\varphi = r d\varphi. \quad (\text{XII. 26})$$

Deplasarea după direcția axei barei se găsește considerînd un dreptunghi elementar $mm'n'$, ale cărui laturi sînt dx și ds . Conform ipotezei admise, rîle în urma rotației în axa mediană și deci dreptunghiul nu-și modifică unghiul-dreptunghi este

$$du = - ds \sin \beta = \beta ds$$

iar

$$\beta = \frac{mn_2}{dx}, \quad \text{deci} \quad du = - \frac{mn_2}{dx} ds = - r ds \frac{d\varphi}{dx}$$

sau

$$du = - \varphi' r ds. \quad (\text{XII. 27})$$

Deplasarea punctului n în direcția axei barei trebuie considerată în raport cu planul inițial, deci în raport cu un punct S situat la distanța s , în raport cu originea S este

$$u = - \varphi' \int_s r ds = - \omega \varphi'. \quad (\text{XII. 28})$$

Alungirea specifică a fibrei mn este

$$\epsilon = \frac{du}{dx} = - \omega \frac{d\varphi'}{dx} = - \omega \varphi''. \quad (\text{XII. 29})$$

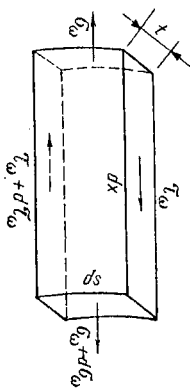


Fig. XII.12. Echilibrul unui element dxds.

Efortul unitar normal σ_ω va fi
 $\sigma_\omega = \epsilon E = -E\omega\varphi''$. (XII.30)

Efortul unitar tangențial τ_ω se poate obține din echilibrul unui element infinitesimal din placa subțire (fig. XII.12). Din proiecția în lungul axei nx rezultă

$$(\tau_\omega + d\tau_\omega)tdx - \tau_\omega tdx = (\sigma_\omega + d\sigma_\omega)tds - \sigma_\omega tds \\ d\tau_\omega tdx = td\sigma_\omega ds.$$

Înlocuind pe

$$\frac{d\sigma_\omega}{dx} = -E\omega\varphi'' \text{ și } tds = dA$$

$$td\tau_\omega = -E\varphi''\omega dA.$$

Integrând

$$\tau_\omega = -\frac{E\varphi''}{I} \int \omega dA.$$

Integrala se notează cu S_ω și se numește *moment static sectorial*; rezultă

$$\tau_\omega = -\frac{E\varphi''}{I} S_\omega. \quad (\text{XII.31})$$

Eforturile unitare τ_ω dau un moment, care se notează cu M_ω și se numește *moment de răsucire-incoviere*.

Sensul pozitiv al acestui moment este acela al acelor de ceasornic. Se poate scrie

$$M_\omega = -\int r\tau_\omega dA$$

Se ține seama că $dA = tds$, $rds = d\omega$ și că $\tau_\omega = \frac{E\varphi''}{I} S_\omega$ și rezultă

$$M_\omega = -E\varphi'' \int S_\omega d\omega. \quad (\text{XII.32})$$

Prin integrare se obține:

$$\int S_\omega d\omega = |\omega S_\omega| - \int \omega dS_\omega.$$

Prinul termen este zero, deoarece S_ω este egal cu zero la marginile profilului; înlocuind $dS_\omega = \omega dA$, rezultă

$$M_\omega = -E\varphi'' \int \omega^2 dA. \quad (\text{XIII.33})$$

Integrala se notează cu I_ω și se numește *moment de inerție sectorial*. Înlocuind în (XII.31) rezultă

$$\tau_\omega = + \frac{M_\omega S_\omega}{I_\omega}. \quad (\text{XII.34})$$

Din relația (XII.33) rezultă

$$E\varphi'' = -\frac{M_\omega}{I_\omega}.$$

Integrând se obține

$$E\varphi'' = -\frac{\int M_\omega dx}{I_\omega} = -\frac{B}{I_\omega} \quad (\text{XII.35})$$

în care $\int M_\omega dx = B$, și se numește *binoment*. Înlocuind $E\varphi''$ în (XII.30) rezultă

$$\sigma_\omega = \frac{B\omega}{I_\omega}. \quad (\text{XII.36})$$

În cazul cel mai general eforturile unitare σ și τ într-o secțiune sînt

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} + \frac{B\omega}{I_\omega} \quad (\text{XII.37})$$

$$\tau = \frac{T_x S_y}{I_y} + \frac{T_y S_x}{I_x} + \frac{M_x t}{I_x} + \frac{M_\omega S_\omega}{I_\omega}. \quad (\text{XII.38})$$

În relația (XII.38) M_x este partea din momentul de răsucire M_T , care corespunde răsucirii libere, adică

$$M_T = M_x + M_\omega. \quad (\text{XII.39})$$

Semnul diferiților termeni rezultă din sensul acțiunii solicitărilor.

b. Ecuația diferențială a răsucirii neuniforme

Într-o secțiune a unei bare cu pereți subțiri supusă la răsucire neuniformă apar eforturi unitare τ , τ_ω și σ_ω ; secțiunea se rotește față de originea axei Ox cu unghiul φ . Intre eforturile unitare și diferitele solicitări sînt stabilite relațiile

$$M_x = GI_T \varphi' \quad \text{și} \quad \tau_x = \frac{M_x t}{I_T} = Gt\varphi' \quad (\text{XIII.40})$$

$$M_{\omega} = -EI_{\omega}\varphi''' \quad \text{și} \quad \tau_{\omega} = \frac{M_{\omega}S_{\omega}}{I_{\omega}}; \quad (\text{XII.41})$$

$$B = -EI_{\omega}\varphi'' \quad \text{și} \quad \sigma_{\omega} = \frac{B_{\omega}}{I_{\omega}}. \quad (\text{XII.42})$$

În expresiile eforturilor unitare intră M_{ω} , M_{ω} și B , care pot fi determinate dacă se cunoaște unghiul de răsucire φ . Ținând seama de relația (XII.39), în care se introduc valorile momentelor de răsucire M_s și M_{ω} date de relațiile (XII.40) și (XII.41), rezultă ecuația diferențială de gradul trei:

$$GI_r\varphi''' - EI_{\omega}\varphi'' = M_r. \quad (\text{XII.43})$$

Se preferă, din cauză că nu totdeauna se cunoaște variația momentului de răsucire M_r , să se deriveze ecuația (XII.43) și se ajunge la

$$GI_r\varphi'' - EI_{\omega}\varphi' = m \quad (\text{XII.44})$$

în care $m = \frac{dM_r}{dx}$ și reprezintă un moment de răsucire repartizat.

Ordinând ecuația (XII.44) se obține

$$\varphi^{IV} = \alpha^2\varphi'' = -\frac{m}{EI_{\omega}} \quad (\text{XII.45})$$

în care $\alpha^2 = \frac{GI_r}{EI_{\omega}}$.

Ecuația diferențială (XII.45), liniară, neomogenă și cu coeficienți constanți, se integrează adăugînd la soluția generală a ecuației omogene $\varphi^{IV} - \alpha^2\varphi'' = 0$, o soluție particulară care satisface ecuația diferențială neomogenă (XII.45).

Ecuația caracteristică a ecuației diferențiale omogene este

$$r^4 - \alpha^2r^2 = 0 \quad (\text{XII.46})$$

ale cărei rădăcini sînt $r_1 = 0$, $r_2 = 0$, $r_3 = +\alpha$ și $r_4 = -\alpha$. Integrala generală a ecuației omogene este

$$\varphi = C_1 + C_2x + C_3\text{sh } \alpha x + C_4\text{ch } \alpha x. \quad (\text{XII.47})$$

Prin derivare se obțin

$$\varphi' = C_2 + \alpha C_3\text{ch } \alpha x + \alpha C_4\text{sh } \alpha x = \frac{M_s}{GI_r} \quad (\text{XII.48})$$

$$\varphi'' = \alpha^2 C_3\text{sh } \alpha x + \alpha^2 C_4\text{ch } \alpha x = -\frac{B}{EI_{\omega}} \quad (\text{XII.49})$$

$$\varphi''' = \alpha^3 C_3\text{ch } \alpha x + \alpha^3 C_4\text{sh } \alpha x = -\frac{M_{\omega}}{EI_{\omega}} \quad (\text{XII.50})$$

Pentru $x = 0$ rezultă

$$C_1 + C_4 = \varphi_0; \quad C_2 + \alpha C_3 = \frac{M_{s0}}{GI_r}; \quad \alpha^2 C_4 = -\frac{B_0}{EI_{\omega}} \quad \text{și} \quad \alpha^3 C_3 = -\frac{M_{\omega 0}}{EI_{\omega}};$$

rezolvînd se obține

$$C_1 = \varphi_0 + \frac{B_0}{GI_r}; \quad C_2 = \frac{M_{s0}}{GI_r}; \quad C_3 = \frac{\varphi_0'}{\alpha} - \frac{M_{s0}}{\alpha GI_r}; \quad C_4 = -\frac{B_0}{GI_r}.$$

Înlocuind în relația (XII.47) se obține după ordonare

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\varphi_0'}{\alpha} \text{sh } \alpha x + \frac{B_0}{GI_r} (1 - \text{ch } \alpha x) + \frac{M_{s0}}{GI_r} \left(x - \frac{\text{sh } \alpha x}{\alpha} \right). \quad (\text{XII.51})$$

Aceasta este soluția generală a ecuației omogene pentru o bară care are momente de răsucire numai la capete.

Soluția particulară care trebuie adăugată soluției generale a ecuației diferențiale omogene depinde de forma termenului m/EI_{ω} . În cazul curente o bară este solicitată cu momente de răsucire constante sau distribuite uniforme; în primul caz, între secțiunile în care se aplică momente de răsucire constante, $m = 0$, iar în al doilea caz $m = \text{const}$. Când pe bară se aplică un moment de răsucire distribuit după o lege oarecare, determinată de termenul liber, se poate lua o variabilă auxiliară t (fig. XII.13) și se poate găsi o soluție particulară de forma

$$-\int_0^x f(x-t) \frac{m(t) dt}{EI_{\omega}} \quad (\text{XII.52})$$

în care $f(x-t)$ rezultă din condițiile

$$\varphi_{(0)} = \varphi'_{(0)} = \varphi''_{(0)} = 0 \quad \text{și} \quad \varphi'''_{(0)} = 1$$

împuse soluției generale (XII.47). Aceste condiții sînt îndeplinite pentru:

$$C_1 = 0; \quad C_2 = -\frac{1}{\alpha^2}; \quad C_3 = \frac{1}{\alpha^3} \quad \text{și} \quad C_4 = 0$$

astfel că înlocuind în relația (XII.47) rezultă

$$f(x-t) = -\frac{x-t}{\alpha^2} + \frac{\text{sh } \alpha(x-t)}{\alpha^3}.$$

Soluția particulară care trebuie adăugată soluției generale (XII.51) este

$$\int_0^x \left[\frac{x-t}{\alpha^2} - \frac{\text{sh } \alpha(x-t)}{\alpha^3} \right] \frac{m(t) dt}{EI_{\omega}} = \frac{1}{GI_r} \int_0^x [(x-t) - \frac{\text{sh } \alpha(x-t)}{\alpha}] m(t) dt. \quad (\text{XII.53})$$

Fig. XII.13. Influența termenului liber.

Soluția generală a ecuației neomogene este în acest caz:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\varphi_0'}{\alpha} \operatorname{sh} \alpha x + \frac{B_0}{GI_r} (1 - \operatorname{ch} \alpha x) + \frac{M_0^r}{GI_r} \left(x - \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\alpha} \right) + \frac{1}{GI_r} \int_0^x [(x-t) - \frac{\operatorname{sh} \alpha(x-t)}{\alpha}] m(t) dt. \quad (\text{XII.54})$$

Celelalte elemente se obțin prin derivarea relației (XII.54)

$$\varphi' = \frac{M_s^r}{GI_r} = \varphi_0' \operatorname{ch} \alpha x - \frac{\alpha B_0}{GI_r} \operatorname{sh} \alpha x + \frac{M_0^r}{GI_r} (1 - \operatorname{ch} \alpha x) + \frac{1}{GI_r} \int_0^x [(1 - \operatorname{ch} \alpha(x-t))] m(t) dt \quad (\text{XII.55})$$

$$\varphi'' = -\frac{B}{EI_\omega} = \alpha \varphi_0' \operatorname{sh} \alpha x - \frac{\alpha^2 B_0}{GI_r} \operatorname{ch} \alpha x - \frac{\alpha M_0^r}{GI_r} \operatorname{sh} \alpha x - \frac{\alpha}{GI_r} \int_0^x [\operatorname{sh} \alpha(x-t)] m(t) dt \quad (\text{XII.56})$$

$$\varphi''' = -\frac{M_\omega}{EI_\omega} = \alpha^2 \varphi_0' \operatorname{ch} \alpha x - \frac{\alpha^2 B_0}{GI_r} \operatorname{sh} \alpha x - \frac{\alpha^2 M_0^r}{GI_r} \operatorname{ch} \alpha x - \frac{\alpha^2}{GI_r} \int_0^x [\operatorname{ch} \alpha(x-t)] m(t) dt. \quad (\text{XII.57})$$

Originea axelor poate fi luată în una din extremitățile barei, poziția ei neîntind impusă.

În sistemul de relații (XII.54) — (XII.57) intervin valorile φ_0 , φ_0' , M_0^r și B_0 care pot fi determinate prin condițiile de rezemare ale barelor și funcția $m(t)$ care rezultă din modul de solicitare a barei între extremități. Din condiții de rezemare rezultă:

— împiedicarea răsucirii în jurul axei longitudinale Ox este echivalentă cu $\varphi_0 = 0$;
— împiedicarea deplanării duce la $\varphi_0' = 0$, deoarece conform relației (XII.28) $\alpha = 0$;
— libertatea completă de deplanare duce conform relației (XII.30) la $\varphi_0'' = 0$ deoarece $\sigma_\omega = 0$.

Ca urmare, în cazul când extremitățile unei bare, de lungime l , au rezeme simple contra răsucirii, adică roțile în jurul axei longitudinale sunt împiedicate, iar deplanările sînt libere, condițiile de rezemare dau

$$\varphi_0 = \varphi_l = 0 \quad \text{și} \quad \varphi_0'' = \varphi_l'' = 0.$$

Dacă extremitățile barei sînt încastrate astfel că sînt împiedicate roțile și deplanările condițiile de rezemare dau

$$\varphi_0 = \varphi_l = 0 \quad \text{și} \quad \varphi_0' = \varphi_l' = 0.$$

În cazul barelor cu pereți subțiri cu contur închis, modulul de calcul rădmine aceiași; din cauza rigidității mari la răsucire a acestor bare unele efecte nu mai pot fi neglijate. Relațiile obținute la barele cu secțiuni deschise se mențin ca formă nu însă și ca valoare.

3. FLAMBAJ CU RĂSUCCIRE

a. Considerații teoretice

Flambaajul cu răsucire al barelor drepte se poate produce în cazul compresiunii axiale, în cazul compresiunii cu încovoierie sau cu răsucire. Fenomenul se manifestă în moduri diferite: simplă răsucire în jurul axei longitudinale a barei, bara luînd o formă elicoidală; încovoierie combinată cu flambaaj într-un plan perpendicular pe planul de acțiune al momentului sau flambaaj cu încovoierie și răsucire. Flambaajul lateral al barelor încovoiate este un flambaaj spațial. Flambaajul spațial este forma cea mai generală de instabilitate pe care o poate căpăta o bară dreaptă.

Pierderea stabilității spațiale se manifestă ușor la barele cu rezistență redusă la răsucire, cum sînt barele cu secțiunea în T, în dublu T, în U etc.

O bară comprimată axial poate flamba prin răsucire dacă axa centrelor de greutate coincide cu axa de răsucire și dacă forța critică de pierdere a stabilității prin răsucire este mai mică decît sarcina de flambaaj prin încovoierie (fig. XII.14).

Flambaajul prin încovoierie și răsucire se produce ușor în cazul barelor cu secțiuni deschise cu pereți subțiri și în special la cele cu o singură axă de simetrie (fig. XII.15). La un profil cu o axă de simetrie (fig. XII.16)

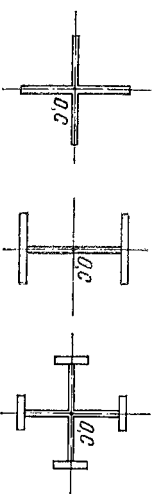


Fig. XII.14. Bare expuse la flambaaj cu răsucire.

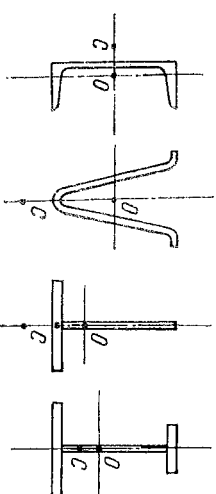


Fig. XII.15. Secțiuni deschise.

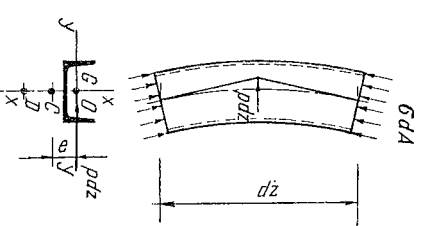


Fig. XII.16. Eforturi la o bară nesimetrică.

centrul de greutate G nu coincide cu centrul de răsucire C . Forța de compresiune este în general aplicată în G .

O bară cu o astfel de secțiune poate flamba după axa $x - x$ sau după axa $y - y$, în acest caz flambaajul fiind însoțit și de răsucire. Dacă se consideră o porțiune de bară după încovoiere de lungime dz , se vede că eforturile după axa $y - y$ în centrul de greutate al secțiunii. Pentru a nu se produce răsucire ar trebui ca pdz să treacă prin C .

În cazul de față forțele pdz produc un moment de răsucire pdz repartizat în lungul barei astfel că bara în final se deformează prin încovoiere-răsucire.

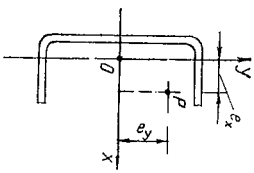
Combinând deformațiile produse de răsucire cu cele produse de încovoiere deformația finală are loc prin rotirea secțiunii în jurul unui punct D numit *centru de încovoiere-răsucire*.

b. Bară supusă la compresiune axială

În general o bară supusă la compresiune axială sau la compresiune axială și încovoiere își poate pierde stabilitatea în mai multe moduri: prin flambaaj obișnuit prin flambaaj cu răsucire sau prin flambaaj cu încovoiere-răsucire.

Fiecărei forme de pierdere a stabilității îi corespunde câte o încălcare critică; în cazul general sînt de analizat trei forme de pierdere a stabilității, cîte una după cele două axe principale și una de încovoiere-răsucire. Primele două pot fi și ele combinate cu răsucire.

În cazul general, o bară dreaptă cu profil deschis cu pereți subțiri, solicitată excentric de o forță P , este supusă într-o secțiune oarecare la forța axială P și la momentele $M_x = Pe_y$ și $M_y = Pe_x$ și e_y fiind excentricitățile cu care este aplicată forța P (fig. XII. 17). Sub acțiunea momentelor M_x și M_y bara se încovoie după o direcție oarecare, deformata bara fiind aproape de forma dreaptă inițială.



Mărindu-se valoarea forței P , la o anumită valoare P_{cr} forma deformată prin încovoiere trece la o nouă formă, datorită efectului de răsucire.

Forma secțiunii transversale se presupune invariabilă. Încovoierea produce într-o secțiune eforturile unitare normale

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}. \quad (\text{XII.58})$$

La trecerea barei în starea a doua se produce deformații suplimentare și deci eforturi unitare în plus peste eforturile unitare date de relația (XII.58); forța P produce de asemenea o încovoiere suplimentară. În urma răsucirii, centrul de răsucire C al unei secțiuni se deplasează cu u și

v și secțiunea se rotește cu unghiul φ . Aceste trei deplasări sînt funcție de z , adică de poziția secțiunii în lungul axei barei. Coordonatele centrului de răsucire sînt a_x și a_y .

Deplasările u , v și φ se obțin din analizarea efectelor răsucirii, și anume a răsucirii produsă de înclinarea eforturilor unitare normale σ după direcția fibrelor longitudinale și aceea produsă de eforturile unitare tangențiale suplimentare, cum și de efectele forțelor tăietoare care apar în secțiune în stare finală de deformare. Se obține în final un sistem cu trei ecuații diferențiale

$$\begin{aligned} EI_y \frac{d^3 u}{dz^3} + P \frac{du}{dz} + P(a_y - e_y) \frac{d\varphi}{dz} &= 0 \\ EI_x \frac{d^3 v}{dz^3} + P \frac{dv}{dz} + P(a_x - e_x) \frac{d\varphi}{dz} &= 0 \\ EI \frac{d^3 \varphi}{dz^3} + [P(r_0^2 + 2\beta_x e_x + 2\beta_y e_y) - GI_r] \frac{d\varphi}{dz} + \\ + P(a_y - e_y) \frac{du}{dz} - P(a_x - e_x) \frac{dv}{dz} &= 0. \end{aligned} \quad (\text{XII.59})$$

În aceste relații s-a notat

$$\begin{aligned} r_0^2 &= I_y^2 + a_x^2 + a_y^2 \\ \beta_x &= \frac{\int_A (x^2 + y^2) x \, dA}{2I_y} - a_x \\ \beta_y &= \frac{\int_A (x^2 + y^2) y \, dA}{2I_x} - a_y \end{aligned} \quad (\text{XII.60})$$

$$I_r = \sqrt{(I_x + I_y)/A}.$$

Ținînd seama de faptul că ecuațiile (XII.60) și condițiile limită sînt satisfăcătoare de

$$u = u_0 \sin \frac{\pi z}{l}; \quad v = v_0 \sin \frac{\pi z}{l} \quad \text{și} \quad \varphi = \varphi_0 \sin \frac{\pi z}{l}$$

în final pentru o bară articulată la capete se ajunge la sistemul de ecuații algebrice în funcție de u_0 , v_0 și φ_0 , care sînt deplasările la mijlocul barei

$$\begin{aligned} (P_y - P)u_0 - P(a_y - e_y)\varphi_0 &= 0 \\ (P_x - P)v_0 + P(a_x - e_x)\varphi_0 &= 0 \\ P(a_y - e_y)u_0 - P(a_x - e_x)v_0 - [P(r_0^2 - P) + 2\beta_x e_x + 2\beta_y e_y]\varphi_0 &= 0. \end{aligned} \quad (\text{XII.61})$$

Fig. XII. 17. Secțiune nesimetrică solicitată excentric.

În aceste ecuații, în care variabila este P , s-a notat

$$P_x = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2}; \quad P_y = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \quad \text{și} \quad P_\omega = \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l^2} + GI_T \right) \frac{1}{I_\omega^2}. \quad (\text{XII.62})$$

Din sistemul de ecuații (XII.61), prin anularea determinantului coeficienților necunoscutelor, se obține ecuația de gradul trei în P :

$$(P_x - P)(P_y - P)[(P_\omega - P)r_\omega^2 - 2P(\beta_x e_x + \beta_y e_y)] - P^2(P_x - P)(a_y - e_y)^2 - P^2(P_y - P)(a_x - e_x)^2 = 0. \quad (\text{XII.63})$$

Rădăcinile acestei ecuații de gradul trei în P dau trei valori pentru forța critică de flambaj, reprezentând forme de pierdere a stabilității cu încovoiere-răsucire.

Aceste relații în unele cazuri particulare de aplicare a încărcărilor, capătă forme simplificate.

Dacă $e_x = e_y = 0$ și $a_x = a_y = 0$, adică dacă secțiunea are două axe de simetrie și forța se aplică centric, relația (XII.63) devine

$$(P_x - P)(P_y - P)(P_\omega - P)r_\omega^2 = 0 \quad (\text{XII.64})$$

și soluțiile sînt

$$P_{xcr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2}; \quad P_{ycr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \quad \text{și} \quad P_{\omega cr} = \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l^2} + GI_T \right) \frac{1}{I_\omega^2}. \quad (\text{XII.65})$$

Primele două sînt forme de flambaj cu încovoiere și a treia flambaj cu încovoiere-răsucire.

În cazul unor secțiuni cu rigiditate la răsucire mică $I_\omega \approx 0$ și $P_{\omega cr}$ devine

$$P_{\omega cr} = \frac{GI_T}{I_\omega^2} \quad \text{sau} \quad \sigma_{cr} = \frac{GI_T}{I_p}. \quad (\text{XII.66})$$

Pentru o secțiune cu patru ramuri în cruce $I_T = \frac{4b^3t}{3}$ și $I_p = \frac{4b^3t}{3}$; rezultă

$$\sigma_{cr} = G \frac{t^2}{b^2}; \quad \text{are loc un flambaj prin răsucire.}$$

Centrul de încovoiere-răsucire, D , în jurul căruia se produce rotirea finală a secțiunii, are o poziție diferită de centrul de răsucire C . În cazul unei secțiuni cu o axă de simetrie, în urma încovoierii barei, centrul de răsucire C se deplasează în C_1 (fig. XII.18) și, în urma răsucirii, secțiunea se rotește cu unghiul φ în jurul punctului C_1 ; poziția finală a secțiunii este ca și

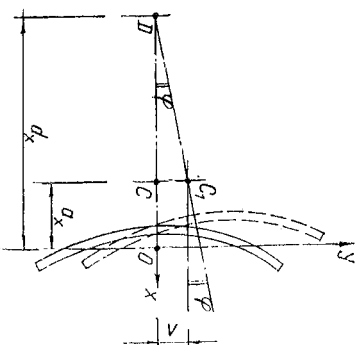


Fig. XII.18. Centrul de încovoiere-răsucire.

cînd s-ar fi rotit cu unghiul φ în jurul punctului D . Distanța d_x de la axa y la punctul D rezultă din relația

$$d_x - a_x = \frac{v}{\varphi}.$$

Deplasările fiind mici se poate scrie $\frac{v}{\varphi} = \frac{v_0}{\varphi_0}$; din relația a doua (XII.61), cînd $e_x = 0$, rezultă

$$\frac{v_0}{\varphi_0} = \frac{P}{P - P_x} a_x \quad \text{astfel că} \quad d_x - a_x = \frac{a_x}{1 - P_x/P_{cr}}. \quad (\text{XII.67})$$

4. AICĂȚUIREA ȘI VERIFICAREA ELEMENTELOR SUPUSE LA RĂSUICRE

a. Alecătuirea secțiunii

Forma cea mai indicată pentru secțiunile elementelor supuse la răsucire sau flambaj cu răsucire este forma închisă, care prezintă cea mai mare rigiditate la răsucire; sînt suficient de avantajoase și barele din elemente deplătate solidarizate cu plăcuțe sau zăbrelețe, care împiedică răsucirea separată a elementelor care compun bara.

b. Relații simplificate pentru verificarea la răsucire

În cazul răsucirii libere, deplanarea secțiunilor nefiind împiedicată, nu apar eforturi unitare σ în direcția axei barei; se dezvoltă numai eforturi unitare de forfecare τ , a căror valoare este

$$\tau = \frac{M_T}{I_T} t_{maz} \quad (\text{XII.68})$$

în care I_T , în cazul profilelor laminatate, este egal cu $I_T = \frac{\alpha}{3} \Sigma It^3$ și exprimă rigiditatea la răsucire; α' este un coeficient de corecție care ține seama de influența racordărilor între tălpi și inimă. În general, relația (XII.68) dă valori exacte pentru orice profile dublu T sudate la care $\alpha' = 1$. La colunțile intrînde ale racordărilor profilelor laminatate efortul unitar de forfecare devine

$$\tau_r = \left(1 + \frac{t}{4r} \right) \tau \quad (\text{XII.69})$$

astfel că dacă se ia raza de racordare $r = t/2$, se obține $\tau_r = 1,5\tau$. La o secțiune închisă, efortul unitar τ este dat de expresia

$$\tau = \frac{M_T}{2At} \quad (\text{XII.70})$$

unde A este aria suprafeței închisă de axa mediană a peretelui secțiunii și t grosimea peretelui, cea mai mică, dacă grosimile sînt diferite.

În cazul unei bare supuse la răsucire, a cărei deplanare este împiedicată, verificarea se face cu relațiile

$$\tau_s = \frac{M_s t}{I_r} ; \quad \tau_\omega = \frac{M_\omega S_\omega}{I_\omega} ; \quad \sigma_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} . \quad (\text{XII.71})$$

Ecuatiya diferențială $EI_\omega \varphi^{IV} - GI_r \varphi'' = -m$, în cazul cînd rigiditatea la răsucire este mică, se poate scrie sub forma

$$EI_\omega \varphi^{IV} = -m . \quad (\text{XII.72})$$

Cum $m = \frac{dM_r}{dx}$ și reprezintă momentul de răsucire pe unitatea de lungime, se poate face o analogie cu încovoierea, unde $EI_x y'' = q$ și $EI_x y'' = -M$. S-ar putea deci scrie, în cazul unei bare prinsă la capete și răsucită uniform în lungul ei cu m ,

$$B = \frac{m l^2}{8} \quad \text{și} \quad f = \frac{5}{384} \cdot \frac{m l^4}{EI} . \quad (\text{XII.73})$$

Pentru o bară încărcată cu q la o distanță e de centrul de răsucire, $m = qe$.

Se poate practic neglija rigiditatea la răsucire GI_r , cînd ed este mai mic decît:

0,5 la o bară în consolă;

0,75 la o bară simplu rezemată la capete;

1,5 la o bară încăstrată la capete.

S-a notat $\alpha^2 = \frac{GI_r}{EI_\omega}$ și l lungimea barei.

În cazul unei bare articulate la capete cu secțiunea dublu T , forța P fiind aplicată centric, conform relațiilor (XII.65), sînt posibile trei forme de flambaj

$$P_{xcr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2} ; \quad P_{y cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \quad \text{și} \quad P_{\omega cr} = \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l^2} + GI_r \right) \frac{1}{i_z^2}$$

în care l este lungimea barei și i_z raza de inerție polară; momentul de inerție sectorial I_ω pentru un profil dublu T este

$$I_\omega = \frac{b^3 h^3 t}{24} \quad (\text{XII.74})$$

în care t este grosimea tălpii; cele trei forțe critice de flambaj rezultă deci imediat.

XIII. ELEMENTE SUPUSE LA COMPRESIUNE CU ÎNCOVOIERE

1. ALCĂȚURIREA SECȚIUNII BARELOR

Solicitarea de încovoiere a barelor poate proveni din aplicarea excentrică a forței de compresie, din momente aplicate la capete sau pe parcursul barei, din forțe laterale. După importanța diferitelor solicitări și modul lor de aplicare, bara poate fi într-o situație mai apropiată de o bară comprimată axială sau de una încovoiată.

La alcățuirea secțiunii barei trebuie ținut seama nu numai de problema de rezistență, dar și de fenomenul complex de pierdere a stabilității barei. Cînd solicitarea de încovoiere este mică, bara capătă forme asemănătoare barelor comprimate; dacă solicitarea de încovoiere este mare forma secțiunii se va apropia de forma barelor încovoiate.

Barele supuse la solicitări mari, atît de compresie cît și de încovoiere, iau forme care să satisfacă condițiile mai complexe rezultate din aceste solicitări. Forma secțiunii barei mai este influențată și de rolul pe care bara îl are în construcții: bara aparține unei grinzi cu zăbrele, bara este riglă a unui cadru, bara este un stîlp într-o structură etc.

Barele supuse la compresie și încovoiere pot avea secțiunea constantă în lungul lor sau variabilă; variația secțiunii poate fi impusă de modul de aplicare al încărcărilor, de motive constructive sau de stabilitate. În fig. XIII.1

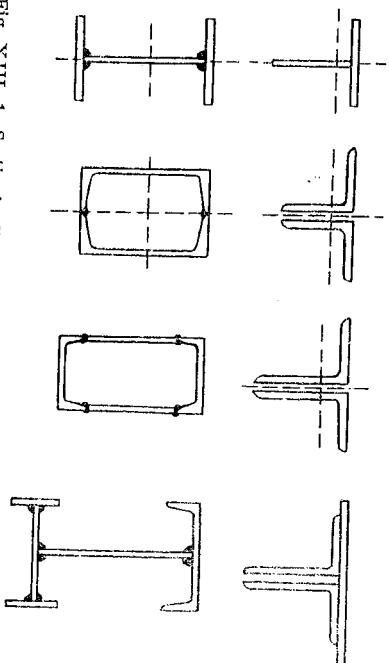


Fig. XIII.1. Secțiuni pline pentru bare comprimate și încovoiate.

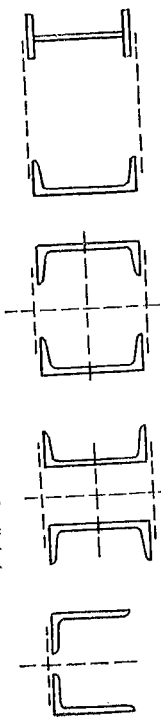


Fig. XIII. 2. Secțiuni din elemente depărtate.

se dau unele exemple de forme de secțiuni pline pentru bare cu solicitări de încovoiere diferite, iar în fig. XIII.2 se arată formele de secțiuni din elemente depărtate, solidarizate cu zăbrelele sau plăcuțe; solidarizarea cu plăcuțe se face numai în cazul când solicitările din încovoiere nu sînt prea mari.

Elementele cu secțiunea dezvoltată se rigidizează, folosindu-se rigidizări transversale la bare sau longitudinalale; din distanță în distanță, când bara este compusă din părți depărtate prea dezvoltate, cum este cazul stîlpilor, se prevăd diafragme (fig. XIII.3).

Condițiile pentru asigurarea inimilor stîlpilor contra pierderii stabilității impun așezarea unor rigidizări transversale dacă $h_0 > 70t_0$, h_0 și t_0 fiind înălțimea și grosimea inimii; când efectul încovoierii este mai pronunțat, raportul h_0/t_0 se poate lua 100 și chiar mai mare. Distanța între rigidizările transversale nu va depăși 2,5 la 3,0 h_0 .

Dacă stabilitatea inimilor stîlpilor comprimați și încovoiați nu poate fi asigurată prin măsuri obișnuite, se introduce rigidizări longitudinale, care este indicat să fie alecătuite astfel încît să se poată lua în considerație la calculul ariei secțiunii. În acest caz, rigidizările longitudinale se fac continue, iar grosimea lor va fi cel puțin t_1 .

2. COMPORTAREA ELEMENTELOR SUPUSE LA COMPRESIUNE AXIALĂ ȘI LA ÎNCOVOIERE

a. Considerații generale

Încovoierea, aplicată simultan cu o forță axială N , poate fi produsă de forțe transversale sau de momente, aplicate pe bară; aplicarea forței N cu o excentricitate arecarea, echivalează cu existența unei forțe axiale N și a unu sau două momente la capetele barei. Momentul încovoitor poate acționa în planul în care se produce flambajul sau într-un plan perpendicular; elementul poate fi supus la încovoiere, în același timp, în planul în care se produce flambajul și în plan perpendicular. În toate aceste situații se presu-

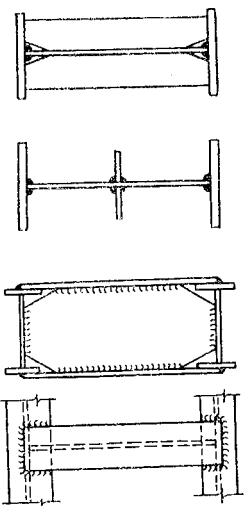
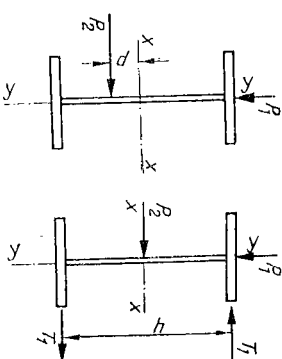


Fig. XIII. 3. Rigidizarea barelor.

ține că încovoierea are loc în planuri care trec prin axele pieselor, adică dacă încovoierea este dată de forțe transversale, acestea sînt cuprinse în planurile ce trec prin axele pieselor. În alte situații, ca cea din fig. XIII.4, problema devine mai complexă; prin aproximație acceptabilă se poate rezolva problema aducînd forțele în planul ce conține o axă a secțiunii și introducînd efectul momentului datorit excentricității printr-un cuplu:

$$Pd = T_1 h. \quad (\text{XIII.4})$$

Fig. XIII. 4. Forță aplicată în afara axei.



b. Compresione axială cu încovoiere în planul de flambaj

În cazul flambajului axial, cu considerarea imperfecțiunilor barei, într-un punct oarecare al secțiunii de la mijlocul lunginii de flambaj, se admite un efort unitar σ/σ_c .

Considerînd bara articulată la capete, sub acțiunea unor forțe transversale se dezvoltă un moment M ; dacă nu ar exista forța N , bara ar lua la mijloc lunginii de flambaj o săgeată f_0 ; aplicînd și forța $N = A\sigma$, aceasta are ca efect mărirea deformației produse de forțele transversale, astfel că săgeata, sub acțiunea simultană a forței N și a celor transversale, devine

$$f_1 = f_0 \frac{1}{1 - \frac{\sigma}{\sigma_c}} = f_0 c, \quad (\text{XIII.2})$$

$$\text{în care } c = 1/(1 - \sigma/\sigma_c) \text{ și } \sigma_c = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}.$$

Deplasarea finală produsă de încălcările de pe bară conform relației (XIII.2) este produsul a doi factori: deplasarea dată de încălcările transversale, dacă nu există N , și factorul c de amplificarea a acestei deplasări, cînd există și forța axială N . Această creștere a deformațiilor barei conduce în final la majorarea momentelor date de forțele transversale. Problema este complexă și este tratată dezvoltat în teoria stabilității elastice, unde sînt stabilite valori ale factorului de amplificarea pentru diferite cazuri.

Pentru o încărcare transversală repartizată sinusoidal pe o bară simplu rezemată la capete, supusă și la o forță axială, diagrama de momente și deformația au forme sinusoidale; în acest caz, factorul de amplificarea are valoarea c dată de relația (XIII.2). Din teoria stabilității elastice rezultă că se poate lua, cu o aproximație admisibilă, aceeași valoare pentru c și în cazul unor încălcări transversale simetrice (încărcare concentrată la mijlocul barei,

încălzire uniform distribuită). Unele prescripții de calcul prevăd introducerea unor corecții ale factorului c în funcție de modul de distribuire a încălzirilor transversale, în special în cazul aplicării unor momente la capetele barei.

Pentru aplicațiile practice, în general, aceste corecții au o influență care poate fi neglijată când raportul N/N_{cr} nu este prea mare, de exemplu nu depășește valoarea 0,5.

Săgeata f , determinată cu relația (XIII.2), este pentru o bară perfectă, dreaptă și fără defecte de structură; conform celor expuse la pct. X,3,b, dacă $c = 1/(1 - \sigma/\sigma_E)$ pentru o bară perfectă, pentru o bară reală trebuie luată valoarea

$$c = \frac{1}{1 - 1,3 \frac{\sigma}{\sigma_E}} \quad (\text{XIII.3})$$

În consecință, valoarea momentului la mijlocul lungimii de flambaj, momentul acționând în planul de flambaj $y-y$, va fi

$$c_x M_x \quad (\text{XIII.4})$$

în care c_x reprezintă factorul de amplificare la mijlocul lungimii de flambaj cu valoarea dată de relația (XIII.3), M_x fiind momentul produs de încălzirile transversale în secțiunea de la mijlocul lungimii de flambaj; σ_E din expresia factorului c corespunde planului în care acționează momentul.

Unele prescripții pentru verificarea stabilității barelor prevăd ca în locul momentului M de la mijlocul lungimii de flambaj să se ia momentul maxim de pe bară, ceea ce duce la un calcul acoperitor; alte prescripții prevăd ca în anumite cazuri să se ia momentul maxim de pe bară redus prin multiplicitatea cu un coeficient mai mic decât unitatea și anume cu 0,85 când capetele barei sînt deplasabile; cînd capetele barei sînt fixe și pe bară sînt numai solicitări date de un moment aplicat la unul din capete sau de două momente aplicate la ambele capete, coeficientul de reducere al momentului maxim M_2 se ia egal cu $0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0,4$ în care M_1 și M_2 se iau cu semnele lor.

c. Compresime axială cu încovoiere într-un plan perpendicular pe planul de flambaj

Momentul rezultă din încălzirile transversale care acționează în planul perpendicular pe planul de flambaj $y-y$; la mijlocul lungimii de flambaj, pentru aceleași considerații expuse la pct. 2, b, momentul final are valoarea

$$c_y M_y \quad (\text{XIII.5})$$

în care σ_x din expresia factorului c_y corespunde planului în care acționează momentul. Și în acest caz, în loc de M_y de la mijlocul lungimii de flambaj, se va considera momentul maxim de pe bară, întreg sau redus conform celor arătate la pct. 2,b.

d. Compresime axială și încovoiere pe două direcții

Momentele încovoietoare pe cele două direcții devin

$$c_x M_x \quad \text{și} \quad c_y M_y \quad (\text{XIII.6})$$

Factorii de amplificare corespund fiecarei planului în care acționează momentul respectiv.

e. Forțe tăietoare

Momentului M dat de încălzirile transversale îi corespunde la mijlocul lungimii de flambaj o creștere egală cu $(c-1)M$, care se poate scrie sub forma $(c-1) \frac{l}{e} \sigma_x$, în care $\sigma_x = M/W$. Într-un punct oarecare la distanța x de extremitatea lungimii de flambaj, creșterea momentului este $(c-1) \frac{l}{e} \sigma_x \sin \frac{\pi x}{l}$. Forța tăietoare corespunzătoare creșterii momentului este

$$\frac{\pi I}{l e} (c-1) \sigma_x \cos \frac{\pi x}{l} \quad (\text{XIII.7})$$

Ținînd seama și de forța tăietoare T_0 dată de încălzirile transversale, și de forța tăietoare T_f din flambaj [v. relația (X.48)], forța tăietoare totală într-o secțiune la distanța x de capătul lungimii de flambaj este

$$T = T_0 + \frac{\pi I}{l e} \left[\frac{1 - \varphi_1}{\varphi_1} \sigma + (c-1) \sigma_x \right] \cos \frac{\pi x}{l} \quad (\text{XIII.8})$$

în care φ_1 este coeficientul de flambaj conform relației (X.40), $\sigma = N/A$ și $\sigma_x = M/W$ în secțiunea de la mijlocul lungimii de flambaj.

La mijlocul lungimii de flambaj, pentru $x = l/2$, forța tăietoare T este egală cu zero, dacă și $T_0 = 0$.

La capetele lungimii de flambaj, pentru $x = 0$ și $x = l$, forța tăietoare are valoarea

$$T = T_0 + \frac{\pi I}{l e} \left[\frac{1 - \varphi_1}{\varphi_1} \sigma + (c-1) \sigma_x \right] \quad (\text{XIII.9})$$

3. CALCULUL ELEMENTELOR COMPRESIMATE ȘI ÎNCOVOIATE

a. Elemente cu secțiune plină

În cazul încovoierii pe o singură direcție relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{cM}{W} \leq R \quad (\text{XIII.10})$$

în care φ_1 corespunde planului de flambaj, iar factorul c planului în care acționează momentul; momentul M se ia cu valoarea maximă, aplicând eventualele reduceri prevăzute la pct. 2, b.

Dacă încovoiera se produce pe două direcții, relația de verificare devine

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x}{W_x} + \frac{c_y M_y}{W_y} \leq 1,1 R. \quad (\text{XIII.11})$$

În această relație φ_1 corespunde planului în care se produce flambajul, iar factorii de amplificare c_x și c_y corespund planurilor de încovoieră respective; în formulă se introduc M_x și M_y cu valorile maxime, cu reducerile menționate la pct. 2, b; coeficientul $m = 1,1$ se admite deoarece eforturile unitare din compresiune axială și din cele două momente se însușează pe o zonă mică din secțiunea barei.

La barele cu secțiunea în dublu T, încovoiate în planul inimii, dacă legăturile transversale ale tălpilor comprimate sînt la distanțe mai mari decît $40 i_y$, este necesar să se țină seama și de efectul pierderii stabilității generale a barei; în acest scop, termenii care exprimă efortul unitar din încovoiera în planul inimii din relațiile de mai înainte se multiplică cu raportul $1/\varphi_1$ definit ca în relația (XI.33).

În cazurile în care influența forței axiale este mică, de exemplu $N/\varphi_1 A$ mai mic decît $0,15 R$, verificarea barei se poate face cu relația

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{M}{W} \leq R \text{ sau} \quad (\text{XIII.12})$$

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1 R \quad (\text{XIII.13})$$

în care M , M_x și M_y au valorile menționate la pct. 3. a; și în acest caz poate apărea necesar să se țină seama de efectul pierderii stabilității generale. Este necesară în unele situații sau pe diferite porțiuni ale barelor să se facă și verificarea

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq R \text{ respectiv } \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1 R. \quad (\text{XIII.14})$$

în care M , M_x și M_y sînt momentele din secțiunea care se verifică.

b. Elemente compuse solidarizate cu zăbrelețe

Cînd flambajul se produce în planul $x-x$ paralel cu zăbrelețele și încovoiera are loc în același plan (fig. XIII.5), verificarea ramurii de la mijlocul lunginii de flambaj se face cu relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq R \quad (\text{XIII.15})$$

în care φ_1 corespunde planului de flambaj și este determinat cu λ_y transformat, A este aria secțiunii compusă din cele două ramuri ale barei, I_y este momentul de inerție al secțiunii întregi în raport cu axa $y-y$, φ_r este coeficientul de flambaj al ramurii care se verifică în raport cu axa proprie $I-I$, lungimea de flambaj fiind distanța între două noduri și e distanța de la centrul de greutate al secțiunii întregi la axa $I-I$ a ramurii; la determinarea rezistenței σ_x din expresia factorului c_y se folosește λ_y transformat. În cazul secțiunilor nesimetrice în raport cu axa $y-y$, poate fi necesară verificarea ambelor ramuri.

În cazul cînd încovoiera se produce în plan perpendicular pe planul de flambaj $x-x$, verificarea se face cu relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x h}{I_x} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq R \quad (\text{XIII.16})$$

în care φ_1 și c_x sînt determinați pe baza coeficienților λ din planurile respective; h este distanța de la axa $x-x$ la fibra cea mai depărtată (v. fig. XIII.5). Elementele solidarizate cu zăbrelețe solicitate la încovoieră pe două direcții (fig. XIII.6) se verifică cu relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x e_1}{I_x} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq 1,1 R \quad (\text{XIII.17})$$

în care φ_1 corespunde planului în care are loc flambajul, iar c_x și c_y corespund planurilor de încovoieră respective.

Elementele compuse solidarizate cu zăbrelețe pe ambele direcții (fig. XIII.7) se verifică cu relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x e_1}{I_x} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq 1,1 R \quad (\text{XIII.18})$$

Fig. XIII. 6. Încovoieră pe două direcții.

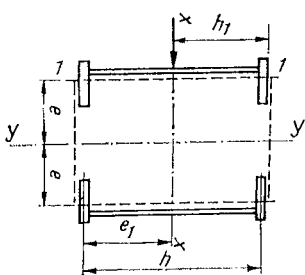
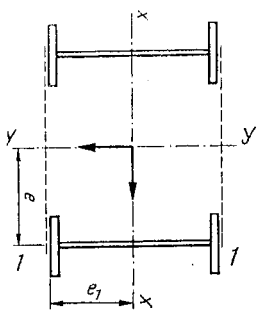


Fig. XIII. 5. Forță aplicată în planul $x-x$.

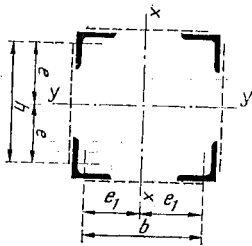


Fig. XIII. 7. Bară solidă-rizată pe două direcții.

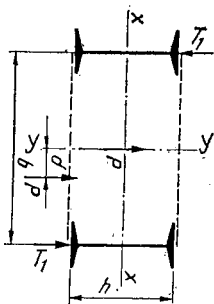


Fig. XIII. 8. Bară cu elemente depărtate solicitată excentric.

în care e_1 și e sînt distanțele de la axele $x-x'$, respectiv $y-y'$ la centrul de greutate al secțiunii ramurii care se verifică, iar φ_r coeficientul de flambaj al ramurii care se verifică în raport cu axa proprie față de care poate flamba pe distanța dintre două noduri.

Cînd intervin excentricități la aplicarea forțelor transversale (fig. XIII.8), la verificarea ramurilor trebuie ținut seama și de efectul de încovoiere produs de forța T_1 ; dacă forța P este aplicată la o distanță d de axa $y-y'$, aducerea forței P în planul $y-y'$ introduce un cuplu

$$T_1 b = Pd \quad (\text{XIII.19})$$

de care trebuie să se țină seama la dimensionare.

La barele solidarizate cu zăbrelele pe ambele direcții, dacă raportul b/h este mai mic decît 1,5, momentul Pd se poate înlocui cu două cupluri egale

$$Pd = T_1 b + T_2 h \quad (\text{XIII.20})$$

în care $T_1 = Pd/2b$ și $T_2 = Pd/2h$.

Calculul zăbrelelor se face cu relațiile (X.43) și (X.44), în care forța tăietoare T are tăietoare este maximă cînd $x = 0$ și $x = l$ [v. relația (XIII.9)] și are valoarea

$$T = T_e + \frac{\pi I}{le} \left[\frac{1 - \varphi_1}{\varphi_1} \sigma + (c - 1)c_i \right] \quad (\text{XIII.21})$$

În această relație T_e conține și forțele T_1 , respectiv T_2 , dacă este cazul.

c. Elemente compuse solidarizate cu plăcuțe

Verificarea barelor compuse solidarizate cu plăcuțe se face calculînd eforturile unitare în ramurile barei la mijlocul panourilor, la prinderea lor de plăcuțe și în plăcuțe la prinderea lor de ramuri; în general este suficient ca aceste verificări să se facă la mijlocul lungimii de flambaj și la extremități; în anumite cazuri, impuse de alcătuirea barei sau de poziția și distribuția încălzirilor transversale, poate apărea necesară și o verificare pe parcursul barei.

În cazul cînd un moment acționează în planul de flambaj $x-x'$, paralel cu plăcuțele, ramurile barei la mijlocul lungimii de flambaj se verifică folosînd relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq R \quad (\text{XIII.22})$$

În cazul cînd T_e este diferit de zero, în locul relației (XIII.22) se folosește relația

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} + \frac{T_e b}{4} \cdot \frac{b}{I_1} \leq R \quad (\text{XIII.23})$$

În panourile de la capetele barei, unde forța tăietoare T este maximă, ramurile se verifică la legătura cu plăcuțele pe baza relației

$$\left[\frac{N}{A} + \frac{M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} + \frac{T_1}{4} \cdot \frac{b}{I_1} \leq R \quad (\text{XIII.24})$$

în care M_y reprezintă valoarea momentului la capătul barei care se verifică, iar T are valoarea dată de relația (XIII.21).

La barele solidarizate cu plăcuțe pe ambele direcții, solicitate de o forță axială N și de momentele M_x și M_y care constituie o soluție nerecomandabilă, tăietoare T_e sînt egale cu zero, este

$$\left[\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x e_1}{I_x} + \frac{c_y M_y e}{I_y} \right] \frac{1}{\varphi_r} \leq R \quad (\text{XIII.25})$$

în care φ_1 corespunde planului de flambaj, iar c_x și c_y se iau corespunzător planurilor de încovoiere și se determină cu λ transformat.

Verificarea ramurilor la capetele lungimii de flambaj se face luînd în considerare momentele pe cele două direcții cu valorile pe care le au la capetele barei și efectele forțelor tăietoare pe ambele direcții.

Plăcuțele se verifică folosînd relațiile (X.66) și (X.67), în care pentru determinarea momentului M_p și a forței tăietoare Q , care solicită plăcuțele, se introduce forța tăietoare T dată de relația (XIII.21).

1. FORME ȘI ALCĂȚUIRE

Grinzile cu zăbrele sînt elemente de construcție care, în ansamblul lor, lucrează la încovoiere. Legătura între tălpile grinzii este formată din bare, care împreună cu tălpile alcătuiesc o rețea de triunghiuri geometrice indeformabilă. Barele sînt legate între ele la noduri; legăturile se consideră articulate, deși practice au o oarecare rigiditate. Barele fiind lungi în raport cu dimensiunile lor transversale, rigiditatea lor este mică și influența solicitărilor suplimentare, provocată de rigiditatea nodurilor, este redusă în general. Axele barelor ce vin la același nod trebuie să se întâlnească în același punct sau cu vîntul eforturi suplimentare. Regula practică, simplă, ca o grindă cu zăbrele să formeze un sistem static indeformabil, este ca sistemul să aibă un număr de bare minim, care să formeze o rețea de triunghiuri continuă (fig. XIV.1). Pentru ca un nod să fie fixat de restul construcției este nevoie de două bare; fac excepție primele trei noduri, care pot fi legate între ele numai cu trei bare. Numărul de bare minim necesar este deci $b = 2n - 3$, b fiind numărul barelor și n al nodurilor.

Sînt cazuri cînd această condiție fiind îndeplinită, se obține totuși un sistem deformabil. Barele nu pot fi dispuse oricum, ci într-o rețea continuă de triunghiuri. Practic este necesar de asemenea ca unghiurile dintre barele aceluiși triunghi să nu fie prea mici, fiindcă în acest caz, la deformații elastice obișnuite ar rezulta deplasări mari pentru noduri. În alte cazuri aranjamentul de bare poate duce la forme critice. Ca un sistem cu zăbrele să nu fie critic este suficient să nu se găsească nici un sistem de valori pentru eforturile din bare care să-și facă echilibrul fără ca grindă să fie încărăată.

S-ar putea ca $b > 2n - 3$. O astfel de grindă are un număr oarecare de bare suplimentare și este static nedeterminată interior.

Grinzile cu zăbrele se fac cu tălpi paralele, cu tălpi frînte, triunghiulare, cu una sau ambele tălpi curbate (fig. XIV.2). Grinzile cu zăbrele pot avea o deschidere sau mai multe, luînd forma unei grinzii continue.

Forma și alcătuirea grinzilor cu zăbrele sînt determinate de destinația și mărimea grinzii și de încărcările pe care le au.

Înălțimea grinzilor cu zăbrele. Efortul în tălpile unei grinzii cu zăbrele, pentru o aceeași încărcare, este cu atît mai mic cu cît înălțimea grinzii este mai mare. În diagonale, pentru o înclinare aleasă, efortul nu depinde de înălțimea grinzii (prea puțin la grinzile cu tălpi

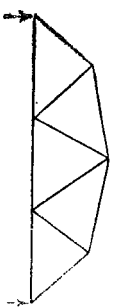


Fig. XIV. 1. Rețea de triunghiuri.

înclinate). Rezultă că mărind înălțimea grinzilor, greutatea tălpiilor se micșorează, dar în schimb greutatea zăbrelelor crește, fiindcă se mărește lungimea acestora. Există deci o înălțime pentru care greutatea de material din grindă este minimă.

Dacă se admite că greutatea tălpiilor scade hiperbolic cînd înălțimea crește, iar greutatea diagonalelor crește linear cu înălțimea grinzii, se poate scrie

$$G = \frac{C_1}{h} + C_2 h. \quad (XIV.1)$$

Derivînd, se obține condiția de minim

$$\frac{dG}{dh} = -\frac{C_1}{h^2} + C_2 = 0 \quad (XIV.2)$$

de unde rezultă $\frac{C_1}{h} = C_2 h$, adică consumul de material este minim cînd greutatea tălpiilor este egală cu a zăbrelelor. Acest criteriu trebuie considerat aproximativ.

Unele criterii practice și de rigiditate duc la stabilirea unor limite pentru înălțimea grinzilor cu zăbrele în funcție de deschidere. Pentru grinzile cu tălpi paralele înălțimea se poate lua între $1/10$ și $1/6$; înălțimea grinzilor cu tălpi înclinate se poate lua între $1/9$ și $1/5$, după înclinarea tălpiilor. Înălțimea grinzii rezultă cu atît mai mare cu cît tălpile sînt mai înclinate. La grinzile triunghiulare înălțimea grinzii la mijloc se ia între $1/4$ și $1/2$. Înălțimea grinzilor cu zăbrele mai poate fi influențată și de alte considerații ca: spațiu limitat, necesitatea de a transporta piesele uzinate de la uzine etc.; deci rapoartele date au un caracter informativ.

Adoptarea unei înălțimi mari face ca unele bare să rezulte cu dimensiuni constructive; o înălțime mică conduce la tălpi cu secțiuni mari, ceea ce face ca nodurile grinzii să devină prea rigide și să apară eforturi suplimentare în bare.

Sistemul de zăbrele. Zăbrelele, adică diagonalele și montanții grinzilor cu zăbrele, pot avea alcătuiri și așezări diferite. Se folosesc următoarele sisteme (fig. XIV.3):

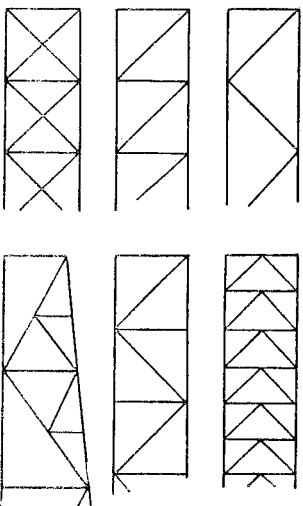


Fig. XIV. 3. Sisteme de zăbrele.

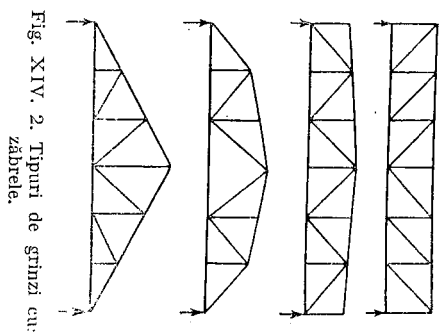


Fig. XIV. 2. Tipuri de grinzi cu zăbrele.

sistemul triunghiular, alcătuit numai cu diagonale; este un sistem simplu, conduce la noduri puținne;

sistemul dreptunghiular cu diagonale și montanți, diagonalele putând porni la rezem de sus sau de jos; duce la noduri mai dese și mai simple;

sistemul cu diagonale înclinabile, care are în același panou cîte două diagonale; este un sistem mai rigid;

sistemul în K sau cu semidiagonale este de asemenea un sistem rigid; se folosește cînd panourile sînt mici;

sistemul cu bare suplimentare care, pe lângă zăbrelele sistemului primitiv, are un supliment de bare prevăzute pentru diferite scopuri: de a reduce distanțele între noduri, de a prelua unele sarcini ce acționează între noduri și de a reduce lungimile de flambaj ale unor bare.

Inclinarea diagonalelor, pe considerații economice la grinziile cu tălpi dreptunghiulare, inclinarea diagonalelor se alege urmărind și alte considerații de ordin constructiv: obținerea unor panouri cu lungimi egale, o bună prindere a diagonalelor la noduri, realizarea unor grinzi cu noduri mai puținne etc.

În practică diferențele condițiilor sînt satisfăcute cu inclinări între 35° și 50° .

2. SECȚIUNILE BARELOR

Grinzile cu zăbrele, după mărimea încălzirilor și dezvoltarea pe care o capătă secțiunile barelor, pot fi ușoare, cu greutate medie și grinzi grele. Alcătuirea grinziilor și alegerea secțiunilor se face urmărindu-se o serie de principii, care pot varia în funcție de tipul grinzii.

La alegerea secțiunii barelor grinziilor cu zăbrele se cere:

— să se folosească cît mai bine materialul, ceea ce impune ușurință în variația secțiunilor barelor în raport cu variația eforturilor;

— posibilitatea unei prinderi ușoare a zăbrelelor de tălpi;

și nici să nu capete deformații locale între noduri, admise fixe.

Secțiunile barelor se alcătuiesc în general astfel încît să prezinte cel puțin o axă de simetrie, care să corespundă cu planul mediu vertical al grinzii cu zăbrele.

Secțiunile tălpilor grinziilor ușoare sudate se fac din elemente simple: o cornieră, o jumătate profil dublu T, un profil dublu T sudat, secțiuni tubulare (fig. XIV.4).

Elementele alcătuite prin sudură trebuie să aibă forme care se pot executa ușor la mașini de sudare automată; secțiunile tubulare vor fi închise și eventual vopsite la interior cu vopsea cu miniu de plumb.

SECȚIUNILE BARELOR

279

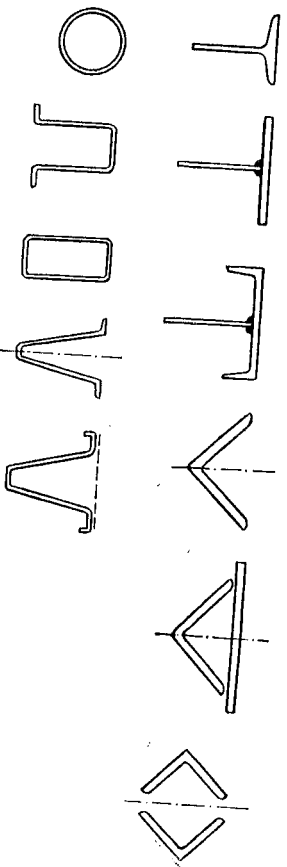


Fig. XIV. 4. Secțiuni pentru tălpile grinziilor sudate.

Grinzile ușoare și medii nituite se fac din corniere cu aripi egale sau neegale; întărirea secțiunilor pe unele porțiuni se poate face cu platbande (fig. XIV.5).

La alcătuirea secțiunii tălpii comprimate se ține seama de fenomenul de flambaj, de eventualitatea încoyovierii barei între noduri, de posibilitatea de așezare a elementelor înveltoirii (pentru ferme).

În cazul grinziilor grele alcătuirea secțiunii barelor cu perete simplu nu mai este rațională și dă dificultăți la asigurarea stabilității și la prinderea zăbrelelor; se fac în unele cazuri secțiuni cu perete dublu. La alcătuirea barelor cu secțiuni cu perete dublu se urmărește:

— prinderea barelor să se facă ușor și cît mai aproape de nodul teoretic;

— secțiunea să se poată mări ușor, în măsura în care efortul crește;

— variația secțiunii barei să se facă ușor, fără o deplasare sensibilă a axei centrelor de greutate;

— secțiunea să nu aibă spații în care să stagneze apa, praful.

În fig. XIV.6 sînt arătate unele posibilități de alcătuire a barelor cu secțiuni cu perete dublu.

Secțiunile zăbrelelor au forme impuse de forma tălpilor în scopul ușurării prinderii și alcătuirii nodurilor. La grinziile cu secțiuni cu perete simplu secțiunile zăbrelelor sînt din cîte un element sau două; se folosesc des corniere.

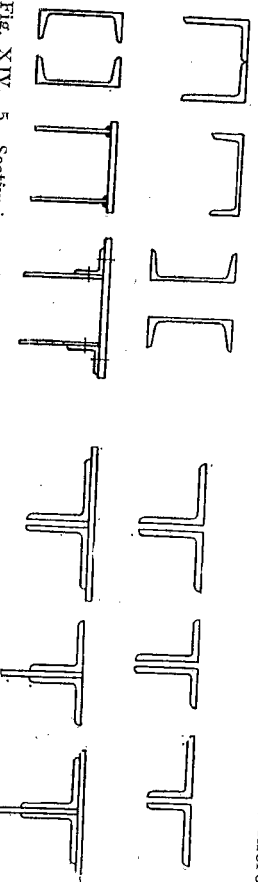


Fig. XIV. 5. Secțiuni pentru tălpile grinziilor nituite.

Fig. XIV. 6. Secțiuni pentru tălpile grinziilor grele.

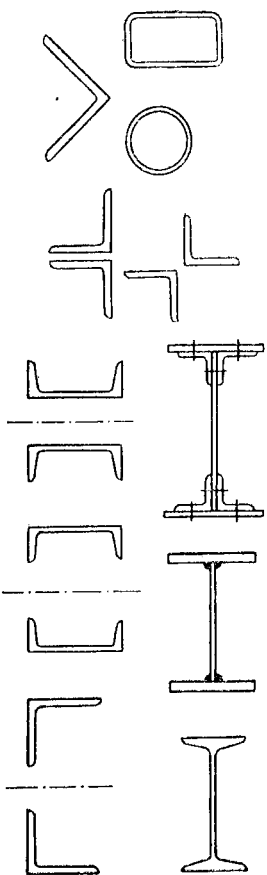


Fig. XIV. 7. Secțiuni pentru zăbrele grinzilor ușoare. Fig. XIV. 8. Secțiuni pentru zăbrelele grinzilor cu pereți dubli.

asezate în formă de fluture, mai ales la barele comprimate. Când tălpile au secțiuni tubulare, zăbrelele se fac și ele de obicei tot tubulare (fig. XIV.7). La grinzile nituite zăbrelele se fac de obicei din două corniere.

La grinzile grele cu pereți dubli, se folosesc pentru secțiunile zăbrelelor forme corespunzătoare, care să permită prinderea la noduri de cei doi pereți (fig. XIV.8).

3. DIMENSIONAREA BARELOR

Dimensionarea barelor grinzilor cu zăbrele se face cu respectarea principiilor și metodelor de dimensionare a barelor supuse la diferite acțiuni, tratate mai înainte. Este recomandabil să se evite, prin adoptarea formei secțiunilor și alte măsuri constructive, bare care ar ceda prin răsucire.

Este recomandabil, de asemenea, să se adopte forme de secțiuni care să prezinte coeficienți de zvelteță λ cu valori cât mai apropiate atât în planul grinzii, cât și în plan transversal. În zona centrală a grinzilor, diagonalele întinse vor fi verificate și la compresie, dacă există încălzări mobile, încălzări care se aplică nesimetric pe grindă sau dacă momentele de la capetele grinzii pot deplasa punctul în care forța tăietoare este nulă.

În cazul încălzărilor variabile se va face și verificarea la oboseală a barelor afectate de variații de eforturi provenind din schimbarea poziției încălzirii mobile, din legături care introduc efecte de continuitate sau dau grinzii un caracter static nedeterminat. În cazul posibilității ca unele bare să cedeze prin oboseală, formele secțiunilor, prinderea diferitelor bare, alcătuirea guseelor, solidarizarea elementelor compuse, variațiile de secțiuni etc., se vor realiza respectându-se recomandările privind alcătuirea construcțiilor supuse la oboseală.

În cazul când, din motive justificcate, apar la noduri prinderi de bare cu excentricități, având mărimi peste cele admise, este necesar ca la dimensionarea barelor să se aibă în vedere și momentele care provin din asemenea excentricități. Când tălpile grinzilor au dimensiuni mult dezvoltate, când

rezultă la noduri gusee mari, care modifică apreciabil caracterul de prindere articulată la noduri, trebuie de asemenea să se țină seama de eforturile suplimentare rezultate din această situație determinându-se eforturile în bare și momentele la capetele barelor în mod corespunzător.

Flambajul lateral al ansamblului grinzii cu zăbrele este recomandabil să fie evitat prin luarea unor măsuri constructive corespunzătoare, ca introducerea unor legături transversale planului vertical al grinzii la tălpile superioare, legături ce vor fi fixate de elemente cu rigiditate suficientă cum sint contravindurile orizontale așezate în planul tălpilor comprimate între două grinzi verticale.

4. SĂGEATA GRINZILOR CU ZĂBRELE

Săgeata grinzilor cu zăbrele simpli rezemate cu o deschidere (fig. XIV.9) se poate calcula cu relația cunoscută

$$f = \frac{1}{E} \sum_{A_{ik}} \frac{N_{ik} r_{ik}}{l_{ik}} \quad (XIV.3)$$

în care N_{ik} este efortul în bara ik din încălzările exterioare, r_{ik} efortul în aceeași

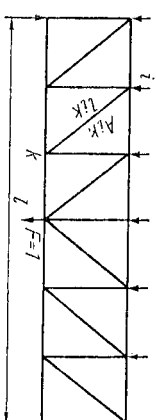


Fig. XIV. 9. Săgeata grinzilor cu zăbrele.

bară dat de o forță egală cu unitatea aplicată în punctul în care se determină săgeata și dirijată în direcția săgeții, iar l_{ik} și A_{ik} lungimea și aria secțiunii barei.

1. REGULI GENERALE PENTRU ÎNNĂDIREA BARELOR

Înnădirea barelor sau a părților care le compun se face astfel încît să se introducă perturbări cît mai mici în scurgerea eforturilor. În general, înnădirea se alecătuiește să poată transmite întreg efortul capabil al barei; la bare ale căror secțiuni sînt alese pe considerații constructive și la bare cu solicițări variabile în lungul lor, înnădările trebuie să transmită solicițarea din secțiunea în care se găsec. Este recomandat să se înnădăreze să nu fie așezate în porțiunile cele mai solicițate ale unei bare, cum ar fi de exemplu în zona de flambaj a unei bare comprimate, în zona de moment maxim a unei bare încoviate etc.

Înnădirea elementelor alecătuite din mai multe profile laminate sau platbande se face de regulă cu rosturi eșalonate, astfel încît scurgerea eforturilor să se facă gradat, fără perturbări mari.

Diferitele părți ale secțiunii unei bare se înnădădesc de obicei ca și cînd ar fi părți separate, evîndu-se cît mai mult o scurgere de eforturi ocolită. Înnădirea din fig. XV.1, a nu este corectă, deoarece eforturile din arțile nelnădăite direct trebuie să se scurgă prin eclisele de pe arțile verticale, cu excentricități mari. Pentru a se asigura o trecere de eforturi fără excentricități, trebuie ca centrul de greutate al secțiunii brute a elementelor de înnădire și al ntubrii sau al prinderilor

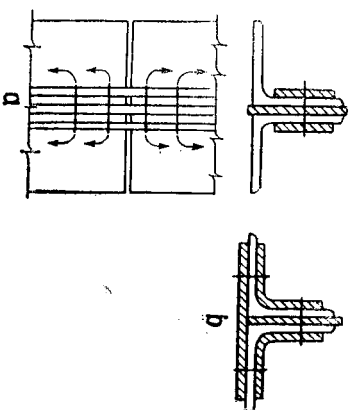


Fig. XV. 1. Prinderea la înnădire.

cu sudură să fie pe linia centrelor de greutate a pieselor care se înnădădesc (fig. XV.1, b). La înnădirea din fig. XV.2, secțiunea ecliselor de înnădire este nesimetrică și centrul ei de greutate nu corespunde cu linia centrelor de greutate a pieselor înnădite. Pe lângă eforturile suplimentare pe care le produce în înnădire o astfel de rezolvare, cele două eclise cu secțiuni prea diferite se încarcă cu eforturi neegale; ntuburile vor fi și ele solicițate diferit pe cele două suprafețe de alunecare.

Piesele prin care trec eforturile dintr-o parte în alta a resturilor unei

înădiri vor fi cît mai aproape de piesa pe care o înlocuiesc; cînd însă se înnădădesc elemente cu grosimi diferite, se prevăd fururi cu grosimea necesară, care trebuie să înceapă să fie prinse ceva mai înainte de înnădire, în scopul de a se încărca într-o măsură oarecare înainte de a începe descărcarea prin eclise (fig. XV.3).

În cazul construcțiilor sudate înădările sînt mai simple; în multe cazuri se poate face înnădirea pieselor cap la cap prin suduri în adncime, evîndu-se complet eclisele. La înnădările cap la cap ale pieselor, rostul se prevede normal pe direcția de scurgere a eforturilor; volumul de lucru se reduce, înădarea este mai simplă și se execută mai ușor. Calitatea electrozilor pernite asigură să se facă suduri cu rezistențe egale cu ale materialului pieselor care se sudază, ceea ce îngăduie să se renunțe la rosturi înclinate, mai greu de executat.

Înnădările trebuie alecătuite astfel încît să nu constituie părți slabe pentru bare, să se poată controla în timpul exploataării și să se întrefină ușor.

2. ÎNNĂDIREA PLATBANDELOR

La construcțiile sudate înădirea platbandelor se face prin sudură cap la cap; rostul se dispune normal pe direcția eforturilor (fig. XV.4). Sudura se îndepărtează excesul de sudură prin prelucrare. Bombamentul sudurii va fi cît mai mic. Sudurile se execută în V, la piesele mai subțiri, cu resudarea rădăcinii; la piesele mai groase se execută suduri în X.

Cînd nu se poate asigura o sudură de calitate superioară, se pot executa înădări cu rostul înclinat față de direcția eforturilor; unghiul α se poate lua între 30 și 45°. Într-o secțiune oarecare normală, pe axa

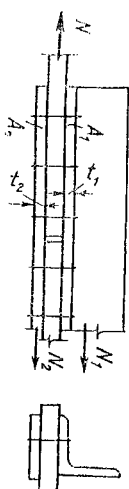


Fig. XV. 2. Înădire cu dezaxare.



Fig. XV. 3. Piesă cu grosimi diferite.

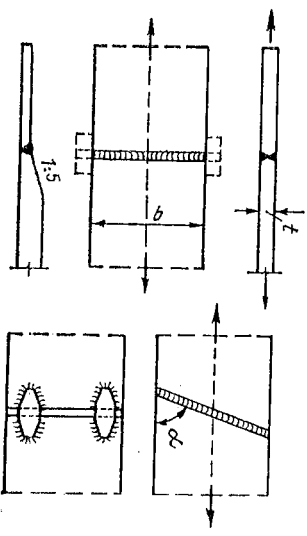


Fig. XV. 4. Înădirea platbandelor sudate.

longitudinală a piesei, se întindește numai o mică parte din cordonul de sudură.

Înădîrea prin sudură cu eclise sau cu eclise parțiale și sudura cap la cap constituie soluții depășite astăzi. Soluția cu eclise parțiale și sudură cap la cap se mai folosește atunci cînd nu se poate realiza o sudură în altitudine de calitate, care să transmită singură eforturile din înădîre.

Efortul unitar în sudura cap la cap se poate verifica cu formula

$$\sigma = \frac{N}{bl} \leq R. \quad (\text{XV.1})$$

În general verificarea nu este necesară cînd sudura este de calitate, deoarece rezistența sudurii este egală cu a materialului pieselor care se sudează.

La construcțiile nituite înădîrea se face cu eclise, așezate pe o singură parte sau pe ambele părți, cînd sînt accesibile. Așezarea niturilor la înădîre se face cît mai strîns, la distanțe minime. Se preferă ca primul rînd de nituri de la capătul eclisei să aibă mai puține nituri decît următoarele (fig. XV.5).

Eclisele au secțiunea cea mai slabă în I—I, unde s-au încălzit complet cu efortul barei. Baza, în apropierea înădîririi, are secțiunea cea mai slabă în 2—2. Pentru ca eclisele să transmită întreg efortul trebuie ca

$$2(b - m_1)d_1R = (b - md)lR$$

sau

$$l_1 = \frac{(b - md)l}{2(b - m_1d)}. \quad (\text{XV.2})$$

În aceste relații, m_1 este numărul niturilor din secțiunea I—I și m , numărul niturilor din secțiunea 2—2, iar d , diametrul găurii.

Din relația (XV.2) rezultă în mod simplu și verificarea în cazul cînd ar fi o singură eclisă.

La piesele întinse se va examina dacă nu se pot produce ruperi simtoase.

Numărul niturilor necesare prinderii în îmbinare se determină pe baza efortului capabil al piesei, deci:

$$n = \frac{b - md}{N_n} lR \quad (\text{XV.3})$$

În care N_n este efortul capabil al unui nit, corespunzător modului de lucru în îmbinare: o secțiune sau două de forfecare sau presiunea pe pereții țigii nitului. Cînd este numai o eclisă pe o singură parte, din cauza solicitării defavorabile, numărul niturilor se mărește cu 10%.

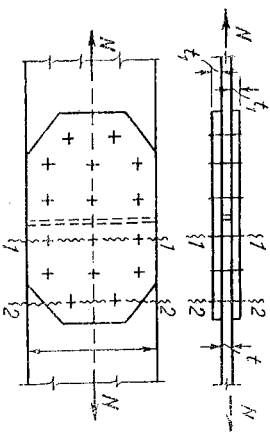


Fig. XV. 5. Înădîrea plătbandelor nituite.

În cazul cînd eclisele au secțiuni nesimetrice (fig. XV.2), deformația lor elastică în îmbinare duce la o distribuție a eforturilor proporțională cu aria suprafețelor lor, deci:

$$N_1 = \frac{A_1}{A_1 + A_2} N \quad \text{și} \quad N_2 = \frac{A_2}{A_1 + A_2} N. \quad (\text{XV.4})$$

Din această cauză, pe lângă dezaxarea eforturilor în îmbinare, se produce și o solicitare la forfecare a niturilor diferită pe cele două planuri de forfecare: spre eclisa I, niturile vor fi forfecate de efortul N_1 și spre eclisa 2 de efortul N_2 .

La construcțiile nituite se folosesc deseori în piese compuse plătbande suprapuse (pachete de plătbande). Rosturile înădîririlor care se execută la montaj se esalonează, așezarea lor putînd fi în scară, în clește sau în scară dublă (fig. XV.6). Înădîrile în scară simplă și în scară dublă se montează ușor; aceasta din urmă este însă mai lungă; se folosește uneori la montajul pieselor grele pentru usurarea montajului. Înădîrea în clește este mai scurtă, dar mai greu de executat, în special la montaj.

Secțiunea eclisei este evident că trebuie să fie egală cu secțiunea plătbandei celei mai mari, pe care trebuie să o înlocuiască în înădîre. Cînd sînt două eclise, de obicei egale, secțiunea lor împreună trebuie să fie egală cu secțiunea plătbandei celei mai mari.

Numărul niturilor de prindere se determină pe baza principului ca fiecare plătbandă să fie prinsă la îmbinare cu numărul de nituri corespunzător efortului de care este capabilă. Ca urmare, rezultă (fig. XV.7):

$$n_1 = \frac{A_1}{N_n} R; \quad n_2 = \frac{A_2}{N_n} R. \quad (\text{XV.5})$$

$$n_2 = \frac{A_2}{N_n} R.$$

Cînd între eclisă și rostul pe care îl acoperă sînt alte plătbande, solicitarea niturilor este defavorabilă și numărul niturilor se sporește aici cu 30% pentru fiecare plătbandă dintre rost și eclisă, adică

$$n' = (1 + 0,3 m) n \quad (\text{XV.6})$$

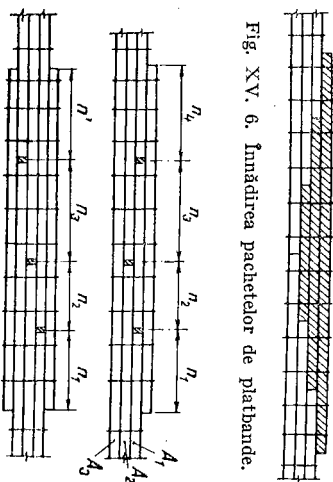


Fig. XV. 6. Înădîrea pachetelor de plătbande.

Fig. XV. 7. Numărul de nituri.

m fiind numărul platbandelor dintre rost și eclisă și n numărul niturilor când între eclisă și rost n-ar fi platbande.

Înnădirile cu șuruburi obișnuite se alcătuiesc și se calculează în același mod.

3. ÎNNĂDIREA CORNIELELOR ȘI A ALTOR LAMINATE

Înnădirile sudate ale cornierelor, profilurilor T, dublu T, tuburilor etc. se fac în general prin sudură cap la cap; la piesele subțiri sudura se face în V și se sudază rădăcina sudurilor, când este accesibilă. La piesele groase este indicată sudura în X. Profilurile T, alcătuite din două platbande sudate, se înnădesc cu un decalaj între talpa și inimă sau în aceeași secțiune.

Tuburile dreptunghiulare sau cu secțiune rotundă se înnădesc cu sudură în adâncime sau în relief, în rost introducându-se o placă transversală; soluția la tuburile cu pereți mai groși este indicată să se introducă la interior o placă suport; în acest caz, rostul se poate mări și înclinarea tăieturilor se poate mări. Introducerea plăcii suport este necesară deoarece sudurile se execută de la exterior și rădăcina lor nu poate fi curățată și resudată.

Înnădirile tuburilor se pot face și cu manșoane rotunde. Sudarea electrică a țevilor nu este admisă la grosimi sub 2 mm; dimensiunea minimă a sudurilor poate fi 2 mm.

În cazul unor construcții cu zăbrele din corniere sudate cum sînt fermele, sudurile îmbinării de montaj în adâncime se fac mai greu, din cauza abaterilor de montaj; se folosesc de aceea îmbinări cu eclise (fig. XV.9). Aripile cornierelor eclise se taie înclinat pentru o mai bună executare a sudurilor.

La înnădirea unui profil este necesar ca fiecare parte a profilului să fie înnădită; este greșit să se înnădească de exemplu numai o aripă la corniere, numai talpa la un profil T etc. Este recomandabil ca fiecare parte a pro-



Fig. XV. 8. Înnădirea profililor și tuburilor.

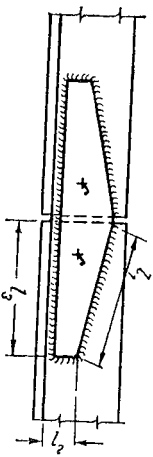


Fig. XV. 9. Înnădire cu eclise.

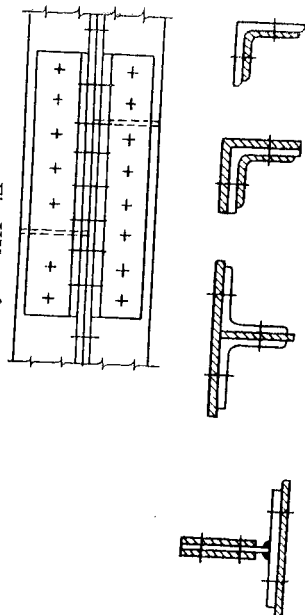


Fig. XV.10. Înnădiri nituite.

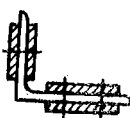


Fig. XV.11. Cornieră cu aripi neegale.

filului să se înnădească ca și când ar fi un element separat, pentru a se evita devieri în scurgerea fluxului de eforturi.

Calculul sudurilor se face după regulile obișnuite; în cazul tuburilor, prin multiplicarea cu coeficientul 0,9.

La construcțiile nituite sau sudate când îmbinarea de montaj este nituită, înnădirea cornierelor se face de regulă cu corniere; dacă nu se folosesc corniere eclise cu colțul rotunjit din laminare, se întrebunțează corniere obișnuite, cărora li se rotunjește colțul. Cornierile eclise nu trebuie să depășească marginea cornierelor piesei în direcția verticală, pentru a nu se forma din oțel lat și corniere (fig. XV.10).

Cînd se înnădesc bare formate din două sau mai multe corniere, rosturile fiecărei corniere se decalază.

Profilele cu alte forme se înnădesc cu eclise din oțel lat. Trebuie făcută înnădirea fiecărei aripi.

Calculul înnădirilor se face pentru dimensionarea ecliselor și a niturilor de prindere. Corniera eclisă trebuie să aibă secțiunea netă egală cu a cornierii pe care o înnădește; când se folosesc mai multe eclise secțiunea lor va fi egală cu a cornierii înnădite. Dacă se prevăd eclise separate pe fiecare aripă, secțiunea acestora va fi repartizată proporțional cu ariile secțiunilor aripilor (fig. XV.11).

În cazul înnădirii a două corniere cu rosturile decalate, aria secțiunii ecliselor este egală cu aria secțiunii uneia din corniere, care se întrerupe la rostul respectiv, așa cum rezultă din relația

$$(A_e + A_c)R = 2A_cR; \quad A_e = A_c \quad (XV.7)$$

în care A_e este aria secțiunii nete a tuturor ecliselor și A_c aria secțiunii nete a cornierii care se întrerupe.

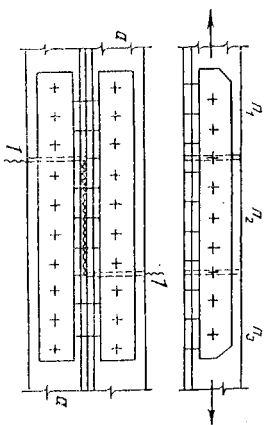


Fig. XV.12. Elemente pentru calculul înădării dintrii cornierelor.

Numărul niturilor se determină urmărind ca fiecare element să fie prins la înădire corespunzător efortului pe care îl transmite. Astfel, cornierele a se vor prinde cu numărul de nituri n_1 egal cu

$$n_1 = \frac{A_c R}{N_n} \quad (\text{XV.8})$$

Niturile se distribuie pe cele două aripi proporțional cu aria secțiunii aripilor. Determinarea niturilor n_2 se face observând că înădirea

s-ar putea rupe după secțiunea $I-I$, prin cele două rosturi, forțându-se niturile dintră rosturi de pe aripile alipite. Dacă înădirea s-a făcut numai cu două eclise laterale, aria secțiunii nete a uneia din ele fiind $A_e/2$ (fig. XV.12) rezultă

$$n_2 N_n + 2A_e R/2 = 2A_e R$$

de unde

$$n_2 = \frac{2(A_e - A_e/2) R}{N_n} \quad (\text{XV.9})$$

Pentru orice alte înădări, calculul se face în mod asemănător.

4. ÎNNĂDIREA BARELOR SUPUSE LA ÎNCOVUIERE

Înădirea unei bare încovoiate se execută complet, înădindu-se fiecare din părțile care compun secțiunea barei. Alcătuirea înădării depinde de forma secțiunii, de mărimea solicitărilor și de mijloacele de înbinare; înădirea trebuie să transmită integral solicitările barei din secțiunea respectivă. În general se urmărește să se evite așezarea înădărilor în zonele în care momentele sînt maxime.

În înădire trebuie să se producă perturbări cât mai mici în scurgerea eforturilor; centrelor de greutate al înădării și al prinderilor, vor corespunde cât mai bine centrului de greutate al piesei care se înădește.

Se urmărește realizarea unor înădări cât mai simple.

La alcătuirea unei înădări trebuie avut în vedere faptul că solicitările din momentul încovoietor în raport cu axa $x-x$ sînt luate de ansamblul înădării; forțele tăietoare sînt luate practic de elementele înădării așezate pe inimă. În cazul unei încovoieri și în raport cu axa $y-y$, eforturile de forfecare sînt luate de elementele înădării așezate pe tălpi.

Înădările barelor sudate se fac de regulă prin sudură; alcătuirea de înădări imprimată de la înădările nituite, practicate mai înainte, nu mai este astăzi recomandabilă. Sudura și-a creat forme specifice de înădire, care, datorită calităților bune cu care se pot realiza astăzi sudurile sînt superioare celor care imită înădările nituite.

În unele cazuri înădările de montaj la șantier ale grinzilor sudate se fac nituite.

Grinzile laminate cu secțiunea dubla T sînt suficient de lungi, încît nu este necesară în general înădirea lor. În cazurile în care se pune problema executării unor înădări, acestea se fac cu sudură cap la cap; eventual la talpa inimă se prevede și o eclisă. O altă soluție constă în introducerea în rost a unei plăci transversale, prinderea făcîndu-se cu suduri în relief (fig. XV.13). Obișnuit sudurile cap la cap se execută în X în treceri succesive, straturile de sudură de pe partea opusă aplicîndu-se numai după curățirea rădăcinii sudurii făcute mai înainte pe cealaltă față.

Calculul înădării cap la cap nu pune probleme deosebite. În cazul înădării cu sudură și eclisă la talpa inimă, se face verificarea înădării, introducîndu-se și secțiunea acestuia; se calculează de asemenea și prinderea eclisei cu sudură, la efortul capabil al eclisei.

Grinzile cu inimă plină sudate pun probleme de înădire mai deosebite. De cele mai multe ori, pentru executarea unei grinzi cu inimă plină, este necesar ca tălpile și inima să fie înădite în diferite locuri; în atelier se poate face înădirea acestora la orice distanță între rosturi. Se pune deci problema înădării unor plăcînde și a unor table groase (inimă), (fig. XV.14). Înădările acestora se fac înainte de a se monta și suda grinda, cu suduri cap la cap, realizîndu-se tălpi și inimi de lungimea necesară. În cazul inimii se pune uneori și problema înădării ei în sens longitudinal. Este recomandabil ca această înădire să se facă cât mai aproape de mijlocul inimii; cînd nu se poate respecta această condiție, înădirea longitudinală se va așeza totuși cât mai departe de tălpi și nu mai aproape de $0,2 h_x$ (h_x fiind înălțimea inimii). Este de asemenea recomandabil să nu se înălținească în același punct multe cordoane de sudură; de aceea rosturile înădărilor longitudinale ale tablelor groase se decalează cu 60—80 mm. În zona

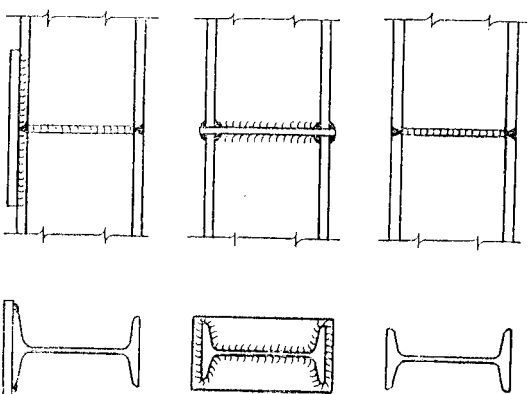


Fig. XV.13. Înădirea grinzilor laminate prin sudură.

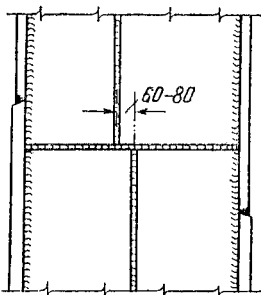


Fig. XV. 14. Innădire de atelier.

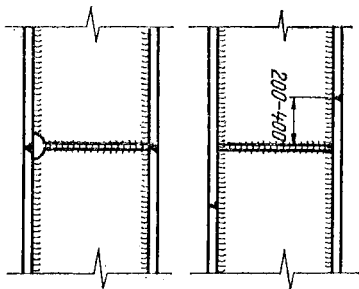


Fig. XV. 15. Innădire de montaj prin sudură.

de intersecție trebuie făcut un control riguros al sudurilor, aici aparînd concentrări și stări de eforturi defavorabile.

Innădiri în aceeași secțiune sau apropiate se întîlnesc la innădirile de montaj. La montaj sudurile tălpilor se pot face cu oarecare decolare față de rostul inimii sau în aceeași secțiune (fig. XV.15). Sudarea rosturilor de montaj în adâncime cere însă ca pisele să fie executate cu multă grijă și montajul să fie suficient de exact. Aceasta însă este destul de greu de realizat în practică. O innădire cu suduri în adâncime, la care rosturile înainte de sudare nu au dimensiuni corecte, este de calitate redusă și nu este admisibilă.

Caleculul innădirilor sudate cu suduri în adâncime nu prezintă particularități.

La construcțiile nituite, innădirile de atelier, ca și la grinzile sudate, se fac după necesități și în locuri diferite pentru tăpi și inimă. Innădirea profilurilor laminată se face în aceeași secțiune (fig. XV.16). La innădirile de montaj ale grinzilor cu inimă plină, rosturile tălpilor și inimilor se așază cît mai apropiat (fig. XV.17). Innădirea se poate alcătui în moduri diferite; platbandele tălpilor pot avea rosturile în scară simplă sau dublă. Cornerele de pe o parte și alta se innădesc în locuri diferite, folosindu-se eclise corniere.

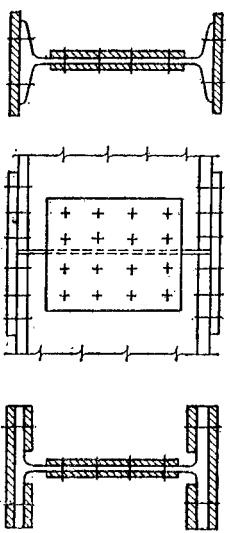


Fig. XV. 16. Innădire la profile dubla T.

Innădirea inimii se poate face cu eclise așezate între corniere; dacă nu sînt înăcîte în același loc și cornierele, trebuie acoperită cu eclise și partea din inimă

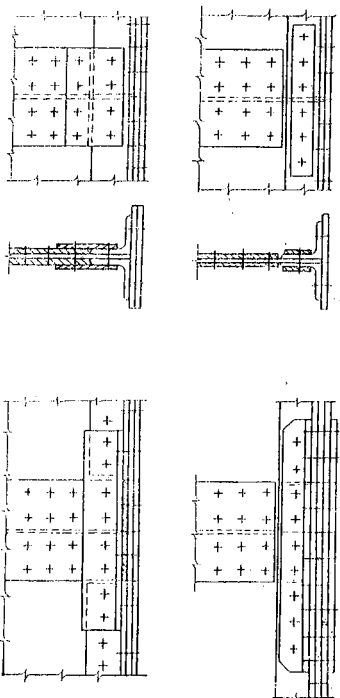


Fig. XV. 17. Innădiri nituite la grinzi cu inimă plină.

de sub corniere. Se pun eclise pe corniere, avînd lățimea egală cu a arpiilor acestora sau eclisele se fac mai late, acoperind parțial și eclisele inimii, ceea ce avantajează nituirea. O altă soluție constă în întreruperea cornierelor și acoperirea cu eclise a întregii înălțimi a inimii. În unele cazuri poate fi necesară innădirea inimii în lung (fig. XV.18).

Calculul îmbinărilor nituite se face pe baza solicitărilor din secțiunea în care se face innădirea. Platbandele tălpilor și cornierelor se innădesc după regulile obișnuite la efortul axial capabil al acestor elemente. Dimensionarea ecliselor și a prinderii lor de inimă se face pe baza solicitărilor care revin inimii. Dacă M este momentul încovoietor în secțiune și T forța tăietoare, inimii îi revine un moment încovoietor

$$M_i = M \frac{I_i}{I} \tag{XV.10}$$

în care I_i și I sînt momentul de inerție al inimii și momentul de inerție al întregii secțiuni; forța tăietoare se consideră că o ia în întregime inima.

În aceste condiții efortul în nitul cel mai solicitat este conform fig. XV.19

$$N = \sqrt{\left[\frac{M_i y}{(a_i^2 + y_i^2)} \right]^2 + \left[\frac{M_i x}{(a_i^2 + y_i^2)} + \frac{T}{n} \right]^2} \tag{XV.11}$$

Cînd nituirea este dezvoltată pe înălțime, distanțele după axa Ox sînt neglijabile și solicitările niturilor pot fi calculate cu relația

$$N = \sqrt{\frac{M_i y^2}{y_i^2} + \left(\frac{T}{n} \right)^2} \tag{XV.12}$$

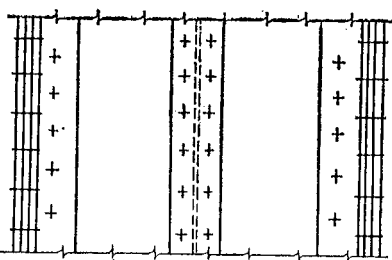


Fig. XV. 18. Innădirea inimii în lung.

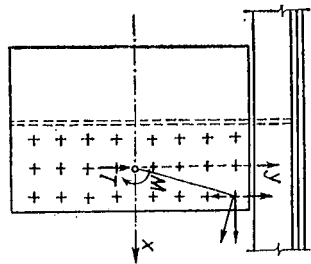


Fig. 19. Sollicitările în nădiri cu eclise.

în care n este numărul niturilor de prindere a ecliselor inimii de o parte a rostului. Efortul se compară cu efortul capabil al nitului. Înădîrile longitudinale ale inimilor se diminuează la eforturile longitudinale ce le revin.

5. ÎNĂDİRILE CU ȘURUBURI DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ

În ultimul timp, în special la îmbinările de montași, au început să fie folosite șuruburi de înaltă rezistență. Cu șuruburi de înaltă rezistență se pot înădi atât grinzi sudate, cît și cele nituite. Alegătura înădîrilor se face după aceleași reguli ca la grinziile nituite; de talpă, în vederea unei mai bune așezări. Se iau măsuri ca rosturile la îmbinare să nu prezinte spații care ar împiedica contactul ecliselor cu piștele ce se înădesc. Este admisibil ca în aceeași înădire să fie folosite sudură și șuruburi de înaltă rezistență.

Pentru calculul înădîrilor cu șuruburi de înaltă rezistență, se determină sollicitările din încovoiere și forța tăietoare în șurubul cel mai încercat, ca la îmbinările cu șuruburi obișnuite; această sollicitare se compară cu forța de forfecare corespunzătoare numărului de secțiuni de alunecare. Dacă N_n este sollicitarea șurubului determinată cu relația (XV.11) sau (XV.12) se poate scrie

$$N_n \leq mN_s \quad (\text{XV.13})$$

m fiind numărul secțiunilor de alunecare.

XVI. PRINDEREA BARELOR

1. NODURILE GRINZILOR CU ZĂBRELE

a. Reguli generale pentru alcătuirea nodurilor

Barele unei grinzi cu zăbrele se întîlnesc în noduri care se consideră articulații. Eforturile din barele care se întîlnesc în același nod, împreună cu eventualele forțe aplicate la noduri, trebuie să-și facă echilibrul. Practic, legăturile barelor la noduri nu sînt articulații; legăturile reale, avînd oarecare rigiditate, introduc unele eforturi suplimentare. La grinziile obișnuite aceste eforturi suplimentare sînt destul de mici și se neglijează; la grinziile mari, cu bare puternic dezvoltate, devin mai importante și de aceea se cercetează deseori și aceste soliciții suplimentare.

Alegătura unui nod trebuie să fie cît mai simplă, barele care se prind la nod vor fi desecrate cît mai aproape de nodul teoretic; prinderile se vor realiza cu excentricități cît mai mici, spre a nu se introduce eforturi suplimentare mari. Reguli principale care trebuie avute în vedere la alcătuirea nodurilor sînt:

Centrarea barelor la noduri, adică axele tuturor barelor ce vin la un nod să se întîlnească într-un punct, care să coincidă cu nodul teoretic al grinzii. În cazul construcțiilor sudate această centrare se poate face ușor; este însă necesar ca și prinderea la nod să fie astfel încît centrul ei de greutate să fie pe axa barei.

La barele alegătute din corniere, linia niturilor nu coincide cu axa pișsei. Se pune problema dacă se face centrarea la noduri după axele barelor sau după axele niturilor. În fig. XVI.1 se văd efectele centrării după axa barei (fig. XVI.1, a) și după axa niturii (fig. XVI.1, b). În primul caz bara este sollicitată la un moment, care produce în nituri eforturi N_2 , transversale îmbinării; în cazul al doilea momentul care soliciată bara este mai mare.

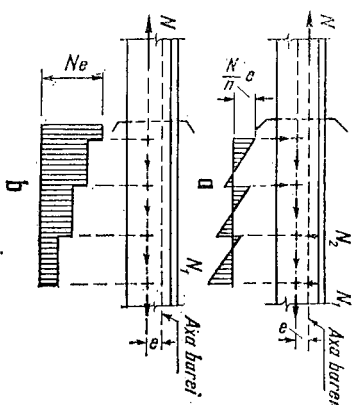


Fig. XVI.1. Centrarea prinderii.

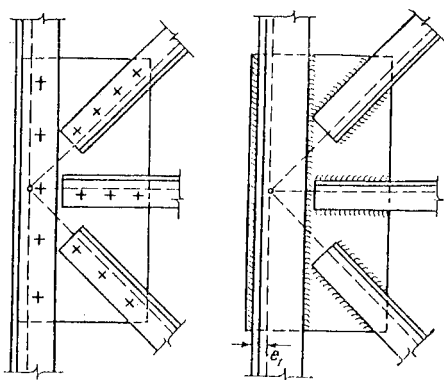


Fig. XVI. 2. Noduri sudate și nituite.

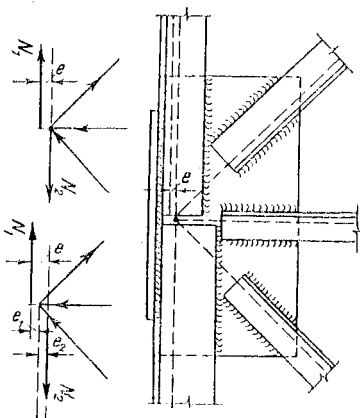


Fig. XVI. 3. Excentricități din diferențe de secțiuni.

Apare deci rațional ca bara să se centreze în nod după axa ei și nu după axa nituirii. Procedând astfel, centrarea barelor se face la fel la construcții sudate și la cele nituite (fig. XVI. 2); la cele nituite poate interveni o dezaxare a nituirii, împusă de condițiile de așezare a niturilor.

În unele cazuri, prinderea unor bare se face cu oarecare excentricitate (fig. XVI. 3) datorită schimbării secțiunii la noduri; pentru ca efectul excentricității să fie cât mai mic, se va centra bara cu efortul oel mai mare, sau se vor așeza barele care provoacă excentricitate astfel încât centrul teoretic să cadă între axele barelor.

În primul caz momentul introdus de excentricitate este N_{1e} , iar în al doilea caz $N_{2e_2} - N_{1e}$.

Reducerea excentricităților trebuie urmărită atent chiar în alcătuirea nodului (fig. XVI. 4, a, b). Astfel, la un nod la care tălpile se întrepun, se vor așeza piese de înădărire, care să micșoreze excentricitatea; gusul la nod se va aranja pe cât posibil simetric pentru a evita solicitarea lui excentrică.

Secțiunea I—I din fig. XVI. 4, c este solicitată la un efort unitar $\sigma = \frac{N}{th} + \frac{6N_e}{th^2}$; este preferabilă soluția punctată.

Menținerea eforturilor în planul grinzii, care se realizează prin folosirea unor bare cu secțiuni simetrice. Chiar în cazul cînd se folosesc bare dintr-o

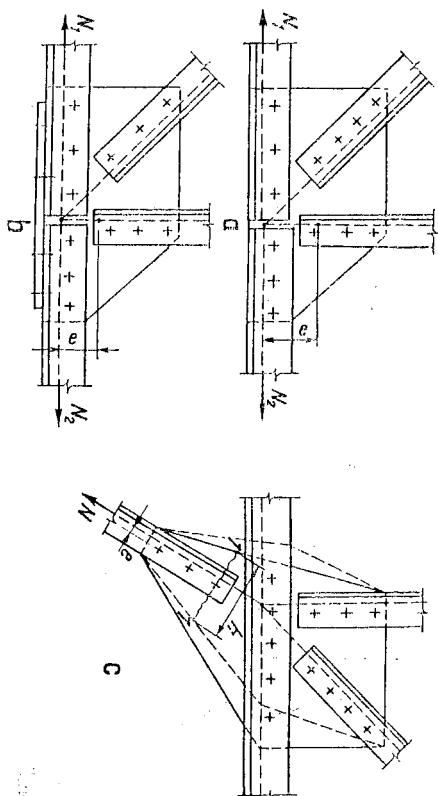


Fig. XVI. 4. Centrare la noduri.

singură cornieră, așezarea și prinderea lor trebuie făcută simetric față de planul grinzii; o prindere nesimetrică produce o solicitare excentrică și o deformare a barelor (fig. XVI. 5).

Prinderea la noduri a întregii secțiuni, astfel ca diferitele părți ale secțiunii să se descarce cât mai direct (fig. XVI. 6). Astfel, la o bară cu secțiunea în T, inima se prinde simetric și pe toată lățimea, chiar dacă parțial este acoperită de corniere; în același scop, în cazul barelor cu secțiuni mari, se folosesc prinderi cu corniere urechi.

Grosimea guseelor se alege în funcție de eforturile axiale din barele grinzii cu zăbrele, cele mai solicitate; se are în vedere în același timp ca niturile să lucreze rațional, eforturile la presiunea pe gaură și la forfecare fiind oarecum apropiate; la grinziile sudate se ține seama și de forma și dimensiunile

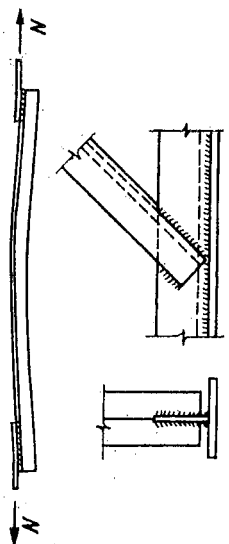


Fig. XVI. 5. Prinderea simetrică și nesimetrică.

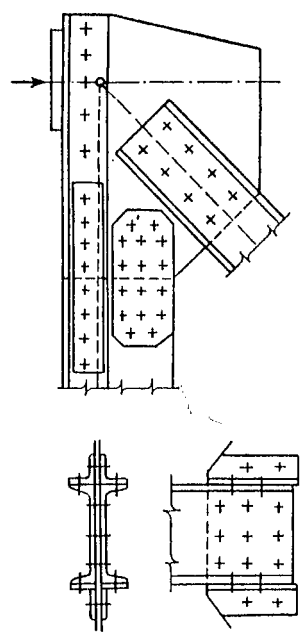


Fig. XVI. 6. Secțiune prinsă complet.

guseelor, necesare prinderii barelor la noduri. Obişnuit grosimea guseelor variază între 6 și 18 la 20 mm; grosimea se menține aceeași la toate nodurile, cu excepția celor de reazem la care grosimea poate fi mai mare cu pînă la 2 mm.

b. Alcătuirea nodurilor sudate

La construcțiile sudate centrarea prinderii se face mai ușor, prin variația dimensiunilor sudurilor de prindere. Astfel, la prinderea din fig. XVI. 7 se pot alege cordoanele de sudură astfel ca

$$a_1 l_1 e_1 = a_2 l_2 e_2 \quad (\text{XVI.1})$$

Cum efortul capabil al cordoanelor de sudură trebuie să fie egal cu efortul din bara care se prinde la nod ($a_1 l_1 + a_2 l_2$) $0,7 R = N$, rezultă că se pot alege dimensiunile a_1, l_1, a_2 și l_2 astfel încît centrul de greutate al prinderii să fie pe linia centrului de greutate al secțiunii barei. Practic se obține o centrare satisfăcătoare, dacă se dă cordoanelor de la muchia cornutei $0,7 N$ la cornutele cu aripi egale, $0,75 N$ la cele cu aripi neegale, prinse de gusen cu aripile mari și $0,65 N$, la cele prinse de gusen cu aripile mici.

Sudurile care prind barele la noduri este recomandabil să fie întoarse la capătul barelor cu cel puțin $2a$; la capetele sudurilor terminate pe laturile longitudinale apar deseori amorse de fisuri. Între cordoanele de sudură care prind diagonalele și cele care prind tălpile de gusen este necesar să rămână un interval de 30—40 mm; o apropiere prea mare între aceste cordoane constituie una din cauzele care conduc la fisurarea guseelor (fig. XVI. 8).

În foarte multe cazuri este posibil ca barele să se prindă la noduri direct sau cu gusee adăugate (fig. XVI. 9).

În fig. XVI. 10 sînt arătate de asemenea unele rezolvări, iar în fig. XVI. 11 sînt arătate unele soluții adoptate la alcătuirea nodurilor din țevi.

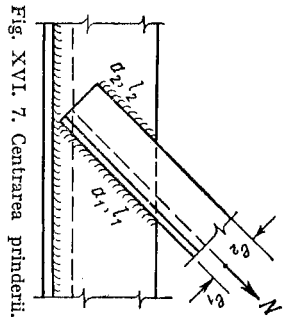


Fig. XVI. 7. Centrarea prinderii.

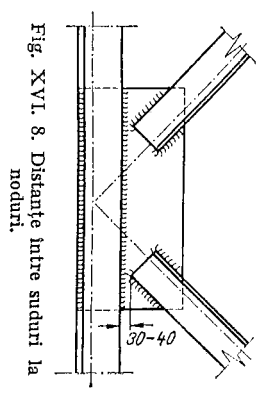


Fig. XVI. 8. Distanțe între suduri la noduri.

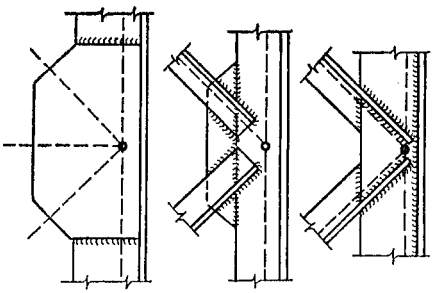


Fig. XVI. 9. Prindere directă și cu gusen adăugat.

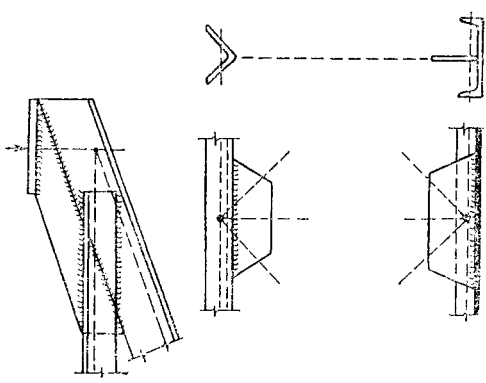


Fig. XVI. 10. Diferite noduri sudate.

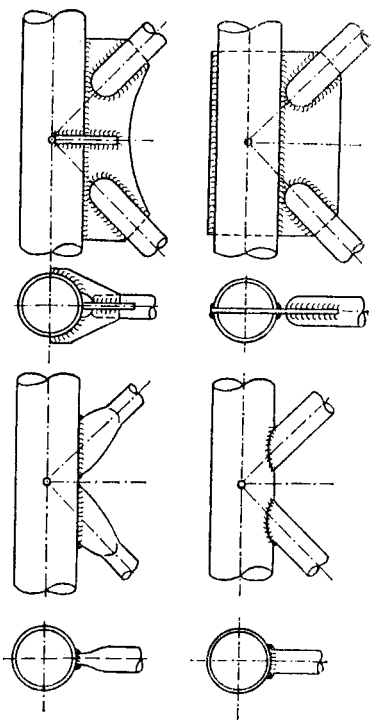


Fig. XVI. 11. Noduri la construcții din țevi.

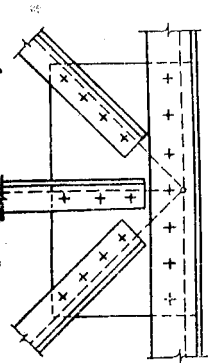


Fig. 12. Nod nituit cu guseu.

Pentru a determina forma și dimensiunile guseelor, se trasează axele teoretice și se desenează barele care vin la nodul respectiv; se așază niturile cât mai strins, pentru a rezulta gusee cât mai mici. La marginile guseelor și la capetele pieselor se lasă o distanță egală cu $2d$. Guseul trebuie să rezulte cu o formă cât mai regulată și pentru aceasta se modifică puțin distanțele între niturile barelor cu eforturi mai mici. Este recomandabil ca cel puțin două din laturile guseelor să fie paralele, pentru a se țina ușor și fără pierderi mari de material. Înclinarea laturilor guseului față de direcția unei bare trebuie să fie suficientă pentru a se asigura o bună scurgere a eforturilor; se va urmări principiul simetriei, deci laturile guseului vor pleca de la bare cu unghiuri aproximativ egale. Se vor evita unghiurile înțind, care pot duce la ruperea guseelor. În fig. XVI. 13 sînt arătate unele alcătuiri de noduri.

c. Alcătuirea nodurilor nituite

Prinderi directe nituite la nodurile grinzilor cu zăbrele folosite la construcții metalice se pot face rar, în general barele neavînd secțiuni cu inimi dezvoltate suficient pentru astfel de prinderi. Se folosesc de aceea gusee care se introduc printre elementele barelor (fig. XVI. 12).

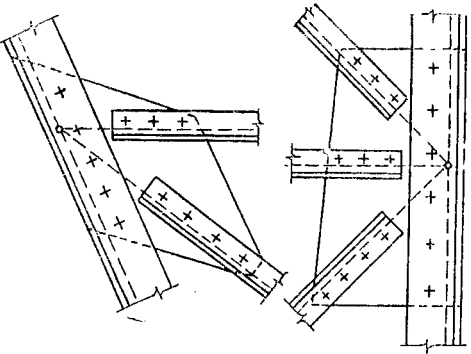


Fig. XVI. 13. Diferite noduri nituite.

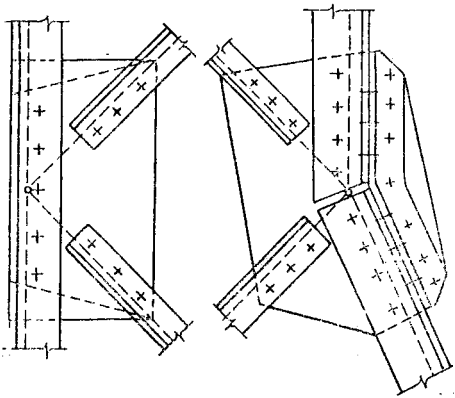


Fig. XVI.15. Noduri pentru grinzi grele.

d. Calculul prinderilor la noduri

Barele care vin la un nod se prind la efortul care soliciță bara; piesele de care se face prinderea se consideră fixe în spațiu.

Barele care nu se întrerup la noduri se prind la diferența de eforturi, care este aceea care provoacă alunecarea barelor pe lângă guseu. Din fig. XVI. 16 se vede că rezultanta eforturilor din tălpi S_1-S_2 este egală și de sens contrar cu rezultanta eforturilor din montanți și diagonală, ceea ce rezultă din echilibrul nodului; cînd la nod există și o forță P , rezultanta eforturilor la care se calculează alunecarea guseului este $R = \sqrt{(S_2 - S_1)^2 + P^2}$. La mijlocul grinzii cu zăbrele efortul care produce alunecarea poate fi nul; se face o prindere ca la nodul vecin. Diagonala și montantul sînt prinse de guseu; ca guseul să nu alunece printre cornierele tălpilor trebuie prins de

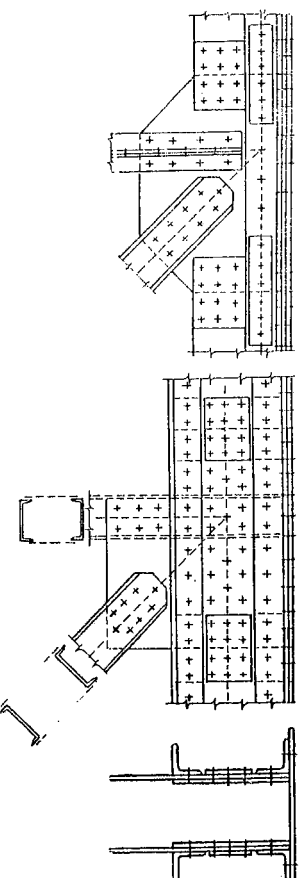


Fig. XVI.14. Gusee cu tăieturi curbate.

În unele cazuri, mai ales cînd grinda este supusă la solicițări variabile, se fac gusee cu tăieturi curbate (fig. XVI. 14). La grinzile cu zăbrele cu secțiuni mari, se pun probleme de alcătuire a nodurilor ceva mai complicate, deoarece eforturile în barele care vin la nod fiind mari, influența excentricității este mai importantă. În fig. XVI. 15 se arată alcătuirea unui nod la o grindă cu perete simplu și la o grindă cu perete dublu. În cazul secțiunii cu perete simplu un guseu poate fi suficient pentru realizarea prinderilor. În cazul grinzii cu perete dublu, s-au întrerupt inimile și s-au introdus gusee; la exterior s-a întărit inima în zona nodului cu o placă, iar la interior s-au prevăzut numai eclise.

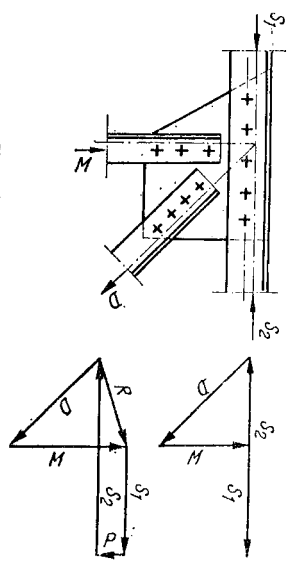


Fig. XVI. 16. Prinderea guseului.

o prindere la efortul care revin; de obicei se face

acestea la un efort egal cu rezultanta. Numărul niturilor sau dimensiunile sudurilor se determină printr-un calcul obișnuit. În cazul când se introduce un guseu la nod, întrerupându-se inima tăl-pilor, inimile întrerupte se prind de guseu, pe baza eforturilor care le revin; de obicei se face o prindere la efortul care revin pe baza eforturilor care le revin, de obicei se face pabil al inimii. În cazul când prinderea ar introduce unele excentricități, se face seama la calcul și de momentul pe care-l produce excentricitatea.

Pentru ca guseele să poată primi și transmite solicitările care le revin, este necesar să se țină seama de modul în care se poate face scurgerea eforturilor la o prindere. La prinderea cu nituri eforturile trec în guseu prin puncte, iar la prinderea cu sudură, pe o serie de zone reduse. Dacă o placă de lățime *b* este încărcată concentrat cu o forță, distribuția începe să se uniformizeze la o distanță de punctul de aplicație desul de mare; în condiții obișnuite această distanță este practic egală cu *b*. Eforturile prezintă vârful cu atât mai mari cu cât distanța de la punctul de aplicație la secțiunea respectivă este mai mică (fig. XVI.17, a).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{2b} = \frac{1}{2} \quad (\text{XVI. 2})$$

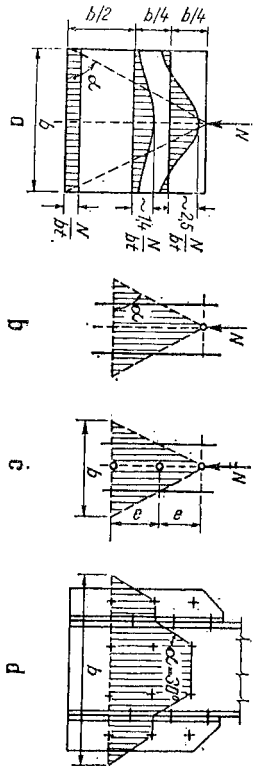


Fig. XVI. 17. Scurgerea eforturilor în gusee.

Admițând că distribuția se face în același mod și în cazul unui șir de nituri pe distanța de la primul la ultimul nit, rezultă lățimea *b* necesară, care este (fig. XVI. 17, c)

$$b = ne \quad (\text{XVI. 3})$$

La o prindere cu mai multe șiruri de nituri, lățimea *b* rezultă conform fig. XVI. 17, d.

Din această analiză rezultă și unghiul pe care-l poate face marginea unui guseu cu direcția barei; unghiul recomandabil este de 30°; la prinderi sudate unghiul poate fi mai mic.

În cazul prinderilor cu sudură raționamentul este analog.

2. ARTICULAȚII

a. Alcătuirea prinderilor articulate

Grinzi cu zăbrele cu noduri prevăzute cu buloane de articulație nu se fac dect foarte rar; se folosesc uneori la grinzi demontabile. Nodurile cu buloane de articulație nu lucrează riguros ca noduri articulate din cauza frecărilor mari, a ruginii care se produce cu timpul și mai ales din cauza deformațiilor locale ce se dezvoltă în buloane și piese, astfel că nu se deosebesc mult de nodurile nituite obișnuite.

Pe de altă parte, grinziile cu zăbrele cu noduri articulate sînt mai puțin rigide decît grinziile cu nodurile nituite. Se fac totuși în construcții metalice unele prinderi articulate la grinzi continue, la unele grinzi independente rezemate pe alte elemente de construcție, în scopul de a fixa trecerea încărcărilor și de a evita transmiterea unor momente.

Platbandele se leagă la articulații cu eolise (fig. XVI. 18). Dacă presiunile sînt mari, se îngroașă platbandele la noduri cu plăci, care se prind cu sudură sau nituri în mod corespunzător. Cînd vin la un nod mai multe bare, una din ele, și anume cea centrală, poate fi dintr-o singură platbandă; celelalte se fac din elemente perechi, în scopul de a se face o transmitere centrată.

Barele din elemente profilate se prind la articulații cu eolise, așezate pe inimii. Cînd presiunile sînt prea mari se consolidează inimile cu plăci. La grinzi se folosesc uneori și articulații cu console, care se obțin prin tăierea în jumătate a celor două profile. Un alt mod de a realiza articulațiile la grinzi este cu prag (fig. XVI. 19). Pe inima grinzilor se prind vertical plăci sau corniere cu aripi neegale, de care se fixează prin sudură sau ni-

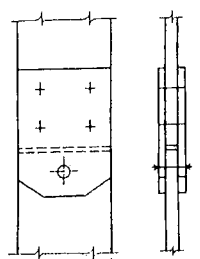


Fig. XVI. 18. Articulațiile platbandelor.

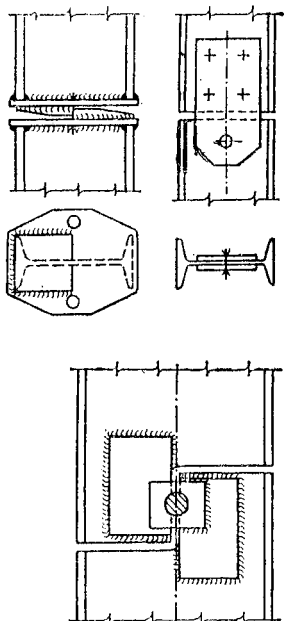


Fig. XVI.19. Articulații la profile.

turi, prăguri. Piese se prind apoi pe linia de rezemare cu buloane. Găturile prin care trec buloanele de articulație se fac rotunde sau ușor ovale. Buloanele, pentru a nu se deplasa, au la capete piulițe sau un cap și o piuliță.

b. Calculul prinderilor articulate

Buloanele articulațiilor se calculează la forfecare, la presiune pe gaură și după cazuri și la încovoiere.

Calculul bulonului la forfecare. La buloanele de articulație, care au dimensiuni mult mai mari decât niturile, nu se admite repartizarea uniformă a eforturilor unitare tangențiale pe secțiune și ele trebuie calculate cu forțele exacte. Efortul unitar tangențial are expresia:

$$\tau = T \frac{S}{bI} \quad (\text{XVI.4})$$

În cazul unui bulon de rază r (fig. XVI.20)

$$b = 2r \sin \alpha; \quad S = \int_y^r b y \, dy \quad (\text{XVI.5})$$

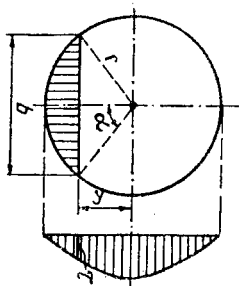
$$y = r \cos \alpha; \quad dy = -r \sin \alpha \, d\alpha \quad (\text{XVI.6})$$

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 = \frac{Ar^2}{4} \quad (\text{XVI.7})$$

Făcând operațiile de înlocuire și integrare se obține

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{T}{A} \sin^2 \alpha \quad (\text{XVI.8})$$

Fig. XVI.20. Variația eforturilor.



Valoarea maximă a efortului unitar τ este pentru $\alpha = \frac{\pi}{2}$ adică în axa bulonului

$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \frac{T}{A} = 1,33 \tau_{med} \quad (\text{XVI.9})$$

Valoarea efortului unitar tangențial maxim în axa bulonului are deci o valoare cu 33% mai mare decât în cazul ipotezei repartiției uniforme.

Calculul bulonului la presiunea pe gaură. Între fața exterioară a bulonului și pereții găurii piesei se stabilește un contact pe o parte din contur, fața opusă separându-se puțin. Pe fața în contact cu piesa apar presiuni normale. Este ușor de văzut că aceste presiuni sînt nule în punctele a și b de la extremitățile unui diametru transversal și că sînt maxime în punctul θ adică pe axa piesei. Se admite că presiunea variază după legea

$$\sigma = \sigma_0 \cos \alpha \quad (\text{XVI.10})$$

În care σ este efortul unitar într-un punct a cărui normală face cu axa piesei unghiul α , iar σ_0 este efortul unitar normal maxim (fig. XVI.21).

Dacă t este lungimea bulonului după axa sa, pe care se exercită presiunea, pentru un element de suprafață tds , presiunea va fi

$$\sigma t \, ds = rt \sigma_0 \cos \alpha \, d\alpha \quad (\text{XVI.11})$$

Proiectînd pe axa piesei rezultă

$$N = 2rt \sigma_0 \int_0^{\pi/2} \cos^2 \alpha \, d\alpha \quad (\text{XVI.12})$$

Ținînd seama că: $\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} (\cos 2\alpha + 1)$, se poate scrie

$$\begin{aligned} N &= 2rt \sigma_0 \int_0^{\pi/2} \frac{1 + \cos 2\alpha}{2} \, d\alpha = rt \sigma_0 \left| \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right|_0^{\pi/2} = \\ &= rt \sigma_0 \frac{\pi}{2} = 0,785(2rt) \sigma_0 = 0,785 \, dt \sigma_0 \end{aligned} \quad (\text{XVI.13})$$

Rezultă

$$\sigma_0 = \frac{1}{0,785} \frac{P}{dt} = 1,27 \frac{P}{dt} \quad (\text{XVI.14})$$

Efortul unitar σ_0 este deci cu 27% mai mare decât în cazul când s-ar admite o repartizare uniformă a presiunilor pe diametrul țijeii.

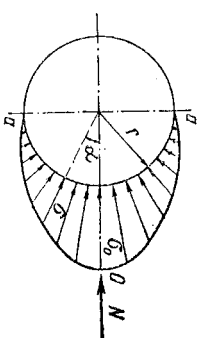


Fig. XVI.21. Variația presiunii pe țijă.

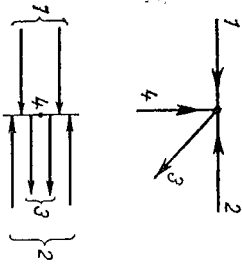


Fig. XVI.22. Acțiunea de încovoier.

te multe cazuri din cauza lungimii lor mari, buloanele de articulație sînt supuse și la încovoierăa țigii (fig. XVI. 22). Bulonul de articulație se consideră că este rezemat în axele barelor extreme și acționat în axele celorlalte piese de eforturile respective. Pentru ușurința calculului se vor proiecta aceste eforturi după două axe Ox și Oy și se vor calcula momentele încovoietoare în diferite secțiuni. Fie M_x și M_y momentele într-o secțiune oarecare. Momentul rezultat în secțiune va fi

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}. \quad (\text{XVI.15})$$

Momentul maxim se găsește ușor construind o diagramă.

Se procedează la fel cu forțele tăietoare și se obține în fiecare secțiune

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}. \quad (\text{XVI.16})$$

Cu aceste solicitări se poate dimensiona bulonul și la acțiunea încovoierii.

3. ÎNCRUCIȘĂRI

Cînd două bare trec una pe lîngă alta se prind între ele; se formează o legătură care împiedică mișcările și frecarea pieselor între ele (fig. XVI. 23).

Barele mici care trec unele pe lîngă altele se pot prinde direct sau prin intermediul unei fururi. Prinderea se poate face cu sudură, cu nituri sau cu buloane. Dacă barele se întîlnesc, una din ele se înterupe la încrucișare și se face o prindere cu gusen; cînd piesele sînt din două elemente, unul se poate lăsa continuu la fiecare bară (fig. XVI.24).

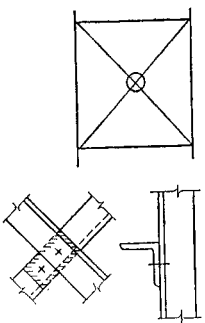


Fig. XVI. 23. Încrucișare de bare alăturate.

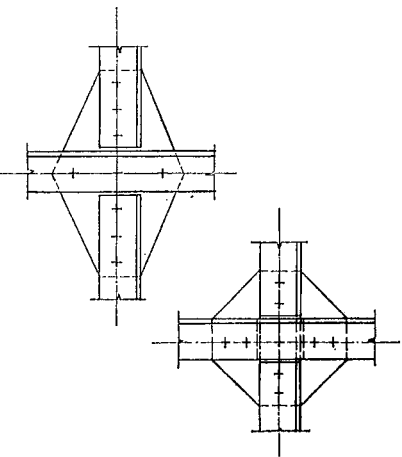


Fig. XVI. 24. Încrucișare cu gusen.

4. RAMIFICAȚII

b. Alcătuirea ramificațiilor

Prin ramificații se înțeleg intersecțiile barelor solicitate la încovoieră în planuri normale pe planul format de axele lor, de exemplu intersecția a două grinzi.

Soluțiile de prindere la ramificații sînt foarte variate, după importanța pieselor și după felul legăturii care se urmărește să se realizeze.

În cazul unor piese sudate o prindere simplă se face cu șuruburi sau prin nituire, cu ajutorul unei plăci sudate în capul barei care se prinde la ramificație. Între placă și inima grinzii de care se face prinderea se introduc fururi de 2—6 mm grosime pentru a se completa golurile rezultate din abateri de execuție sau prevăzute pentru ușurarea montajului (fig. XVI. 25, a). Dacă fețele superioare ale pieselor trebuie să fie la același nivel, piesa care se prinde se taie la partea superioară pentru a se face loc tălpii piesei principale. Tăietura se face rotunjită pentru a se înlătura pericohul fisurării; eventual, marginea tăieturii se întărește cu o placă care se duce la o distanță oarecare pe inimă (fig. XVI. 25, b).

Prinderile directe cu sudură se fac mai greu din cauza preciziei pe care o cere o astfel de prindere altă la execuția pieselor cit și la montarea lor. O prindere directă cu sudură produce deformații și eforturi mari. Se pot folosi însă plăci eclise care se sudază mai înți de inima grinzii de care se face prinderea. Introducerea unor scaune ca în fig. XVI. 25, c ușurează montajul.

Prinderile cu caracter de continuitate se pot face ca în fig. XVI. 26, a cu plăci de continuitate la partea superioară sudate de inima grinzii de care se face prinderea și apoi de talpa grinzii ce se prinde; la partea de jos se sudază talpa de un scaun. Posibilitățile de montaj sînt mai ușoare. Cînd

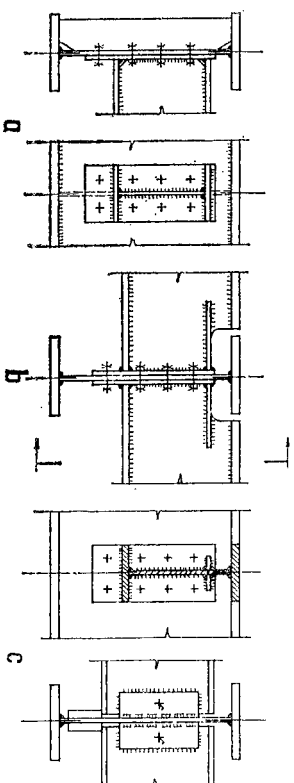


Fig. XVI. 25. Ramificații simple.

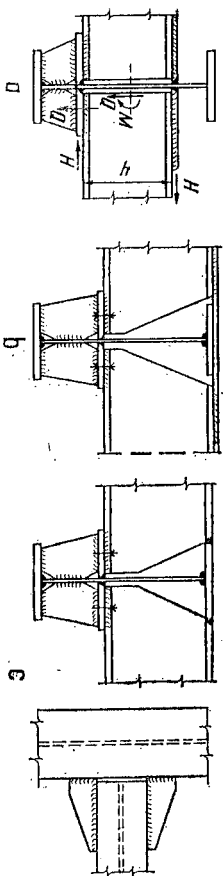


Fig. XVI. 26. Ramificații cu continuitate.

tălpile superioare sînt la același nivel se pun plăci de continuitate pe deasupra sau la același nivel, lateral tălpilor (fig. XVI. 26, b, c).

Prinderea se poate face și cu corniere care se sudează de inima grinzii de care se prind la montaj (fig. XVI. 27).

În cazul cînd ramificația este sub un unghi oarecare se pot face prinderi asemănătoare, plăcii din capul pieselor fiind înclinate (fig. XVI. 28).

b. Calculul prinderilor la ramificații

O prindere simplă ca cea din fig. XVI. 25, a transmite reacțiunea grinzii ce se prinde. Șuruburile de prindere sînt solicițate la forțecare. Sudura plăcii de capăt se calculează de asemenea la aceeași reacțiune; este indicat să se fiină seama că în sudură se dezvoltă și un moment $M = Qe$ (fig. XVI. 29).

Placa de întărire din fig. XVI. 30 se dimensionează considerînd capătul întărit al grinzii supus la momentul $M = Qe$ și la forța tăietoare Q , iar sudura cu care se prinde prelungirea plăcii pe inima grinzii se dimensionează la efortul capabil al plăcii.

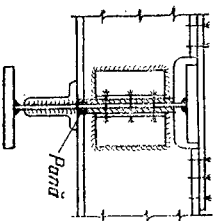


Fig. XVI. 27. Prindere cu corniere.

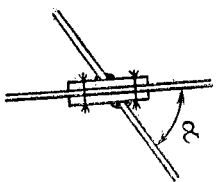


Fig. XVI. 28. Ramificație în unghi.

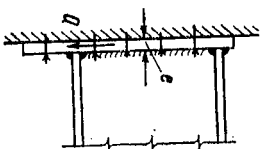


Fig. XVI. 29. Solicițarea unei prinderi directe.

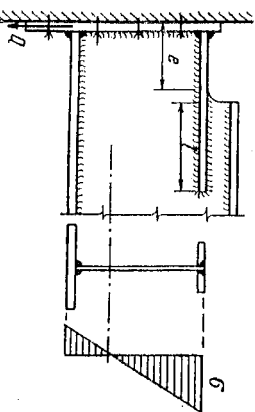


Fig. XVI. 30. Solicițarea plăcii de întărire.

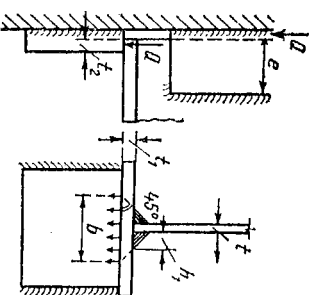


Fig. XVI. 31. Transmiterea prin prag.

La ramificația din fig. XVI. 25, c reacțiunea Q se poate transmite direct pragului, dacă acesta are fața prehurată înalt grîndă să se așeze suficient de bine pe fața pragului. Se verifică în acest caz presiunea pe suprafețele de contact. Lungimea pe care se poate considera că se face transmiterea presiunii este $b = t + 2 h_1 + 2 h_2$, iar lățimea h_2 (fig. XVI. 31). Presiunea se poate admite sporită cu 50%.

În cazul cînd nu se poate realiza transmiterea reacțiunii prin prag sudurile eelșelor se dimensionează să transmită reacțiunea. Sudurile de pe inima piesei care se prinde sînt supuse la momentul $M = Qe$ și la forța Q .

În cazul prinderilor din fig. XVI. 26, există pe reazeme și momente M rezultate din continuitatea pe care o realizează prinderea. Reacțiunea Q se transmite prin prag, care se dimensionează în mod corespunzător. Momentul de pe reazeme M se descompune în cuplul bH .

Plăcile de continuitate de la partea superioară și sudurile lor de prindere se dimensionează să transmită forța H ; sudurile de la talpa inferioară trebuie să transmită forța H și reacțiunea Q (v. fig. XVI. 26, a).

1. CONSIDERAȚII GENERALE

Reazemele sînt elemente care stabilesc legătura între diferite părți ale unei construcții. Astfel, grinziile, fermele, cadrele reazemă la capetele lor și uneori în puncte intermediare pe ziduri sau alte părți de construcție. Reazemele se amenajează astfel încît să se poată transmite încărcările pe care le au de suportat diferițele părți de construcție și să permită unele mișcări. După natura contactului pe care îl realizează reazemele sînt:

Reazeme simple, care îngăduie rotațiile în orice direcție în jurul punctului de contact, precum și deplasările în planul tangent la cele două suprafețe în punctul de contact (fig. XVII. 1). Este împiedicată numai deplasarea pe direcția normalei în planul tangent. Un astfel de reazem este caracterizat printr-o singură necunoscută, valoarea X a reacțiunii normale.

Articulații, care îngăduie orice rotații, dar nu permit nici o deplasare (fig. XVII. 2). Rotațiile fiind libere nu apare pe reazem nici un moment. Reazemul este caracterizat printr-o reacțiune-forță de valoare și direcție necunoscută sau de trei componente cu valori necunoscute, dirijate după normala la planul tangent în punctul de contact și după două direcții normale din acest plan, adică apar trei reacțiuni componente X , Y și Z . În cazul construcțiilor plane necunoscutele se reduc la două: X și Y .

Încăstrări, care nu îngăduie nici rotații, nici deplasări (fig. XVII. 3). Din această cauză un astfel de reazem este caracterizat prin șase necunoscute: trei reacțiuni forțe X , Y și Z și trei reacțiuni momente M_x , M_y și M_z . Pentru construcții la care încăstrarea corespunde unui plan, necunoscutele se reduc la trei și anume X , Y și M_z .

Reazeme combinate, care prezintă diferite posibilități de deplasare. Construcțiile în general au o alcătuire spațială. Reazemele, avînd și rolul de a îngădui unele mișcări, se alcătuiască astfel încît să permită rotațiile sau deplasările în anumite sensuri.

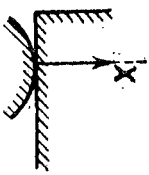


Fig. XVII. 1. Reazem simplu.

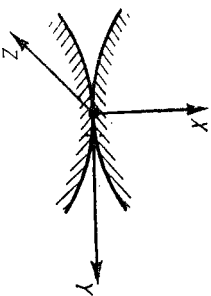


Fig. XVII. 2. Articulație.

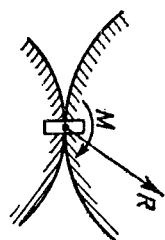


Fig. XVII. 3. Încăstrare.

Un reazem simplu poate avea area limitată sau interzisă una din deplasări și în planul tangent. În afară de reacțiunea X , pentru direcțiile în care nu sînt posibile deplasări, apare și o altă reacțiune, Y sau Z . Reazemul este caracterizat prin două reacțiuni forțe de valoare necunoscută, dar de direcții cunoscute.

Dacă reazemul permite deplasări în orice direcție din planul tangent, dar unele rotații sînt oprite, atunci este caracterizat prin diferite necunoscute: X , M_x ; X , M_x , M_y ; X , M_x , M_y , M_z .

Se pot imagina reazeme ce se pot deplasa în planul tangent numai într-o singură direcție și care să aibă o singură posibilitate de rotire, două sau nici una. Asemenea reazeme sînt caracterizate prin următoarele necunoscute:

$$X, Y \text{ și } M_x; X, Y, M_x \text{ și } M_z.$$

În sfîrșit, pot fi reazeme articulate, adică fără nici o posibilitate de deplasare și cu restricții de rotație pe una sau două direcții. Asemenea reazeme sînt caracterizate prin necunoscutele: X , Y , Z și M_x sau oricare din componentele lui M , ori de forma X , Y , Z , M_x și M_y .

Reazeme parțiale, care au unele restricții în ceea ce privește valoarea deplasărilor și rotațiilor. Tipurile de reazeme arătate nu sînt realizabile în practică în mod perfect. În practică apar rezemări imperfecte. Reazemele simple sînt în practică cu frecări, care introduc unele restricții de deplasare; la fel și articulațiile. Încăstrările perfecte sînt greu de realizat din cauza deformațiilor materialelor. Dacă în unele cazuri se pot considera reazemele ca perfecte, în alte cazuri este absolut necesar să se țină seama de imperfecțiunea lor. Trebuie examinată situația reazemelor cu deosebită grijă, pentru a nu se ajunge la rezultate mult deosebite de situația reală. A considera în calcul un reazem teoretic, care nu se realizează în practică, înseamnă a face greșeli care pot schimba mult distribuția solicitărilor.

2. REZEMAREA DIRECTĂ A GRINZILOR

a. Alcătuirea reazemelor la grinzi

Rezemarea directă a grinziilor pe alte elemente de construcție, ca ziduri, stîlpi etc., se face cu unele măsuri, care au scopul în special de a asigura o bună reparabilitate a presiunilor pe elementul de construcție pe care se face rezemarea. Cînd presiunile ce se transmit sînt mici, grinziile se așază direct pe beton. Grinda se așază provizoriu pe piese metalice și după fixarea ei la nivelul definitiv se introduce sub ea mortar de ciment bine îndesat; după întărirea mortarului se scot penele și goliurile se umplu cu mortar îndesat (fig. XVII. 4). Suprafața de rezemare este retrasă de la marginea elementului de beton sau zidărie, pe care se face rezemarea, cu 3—5 cm, spre a se evita concentrări mari de presiuni la marginea zidăriei sau betonului, provocate de deformația grinzii sub încărcări.

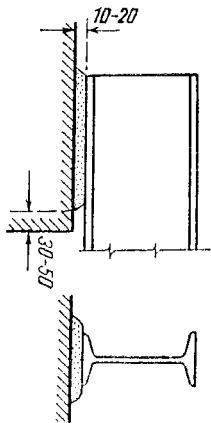


Fig. XVII. 4. Rezemare directă.

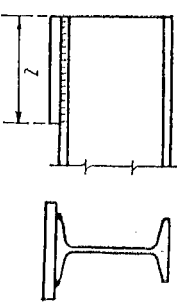


Fig. XVII. 5. Rezemare directă cu placă.

Dacă suprafața de rezemare nu este suficientă, se mărește cu ajutorul unor plăci (fig. XVII. 5); când plăcile rezultă prea late se prevăd nervuri de întărire a plăcilor (fig. XVII. 6). Când grinziile sînt mari se alcătuesc piese cu suprafața necesară rezemării și se iau măsuri să se asigure și o cen-trare a transmisiei încălzeții (fig. XVII. 7).

În cazul grinzilor mici așezate direct pe zidărie sau beton nu este ne-cesară o prindere cu buloane, obișnuit capetele grinzilor înglobându-se în zidărie; cînd deschiderile grinzilor sînt mari sau cînd capetele rămîn libere se prind cu buloane de ancoraj. În general buloanele se așază ca în fig. XVII. 8, umărîndu-se o prindere care să nu-i dea un caracter de încăstrare. Dime-ntrul buloanelor se ia 25—30 mm, iar lungimea de ancorare 16—20 d .

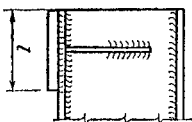


Fig. XVII. 6. Întărirea plăcii de rezemare.

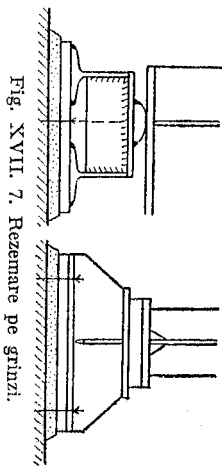


Fig. XVII. 7. Rezemare pe grinzi.

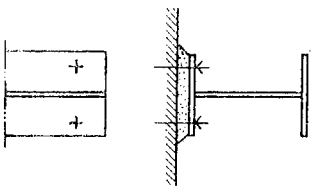


Fig. XVII. 8. Prindere cu buloane.

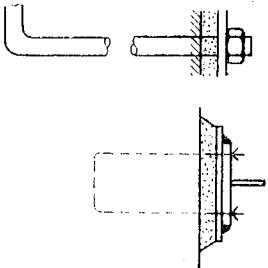


Fig. XVII. 9. Solicitarea plăcii de reazem.

b. Verificarea reazemelor

Lungimea l de rezemare pentru grinzi laminate se ia practic $l \geq \frac{2}{h} + 15$ cm, în care h este înălțimea grinzii, în centimetri. Presiunea pe supra-fața de rezemare este

$$\sigma = \frac{N}{bl} \leq R_b \quad (\text{XVIII.1})$$

în care: N este reacțiunea grinzii pe reazem;

b — lățimea tălpii;

R_b — rezistența de calcul a betonului în funcție de marca betonului.

Cînd există o placă de reazem, în afară de verificarea presiunilor pe zi-dărie, se face și verificarea plăcii, cum și a prinderii ei cu sudură (fig. XVII. 9).

Presiunea p sub placă este

$$p = \frac{N}{bl} \quad (\text{XVIII.2})$$

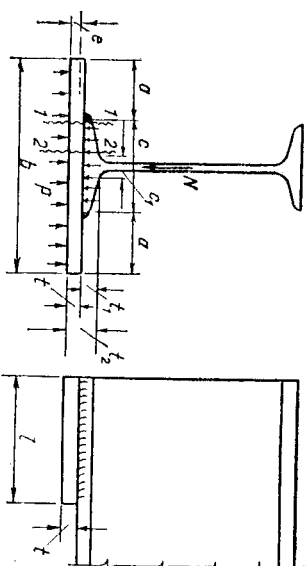
În secțiunea $1-1$ se dezvoltă un moment

$$M_1 = \frac{N}{bl} l \cdot \frac{a^2}{2} = \frac{N}{b} \cdot \frac{a^2}{2} \quad (\text{XVIII.3})$$

Efortul unitar din încovoiere în placă este

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} \leq R \quad (\text{XVIII.4})$$

în care $W_1 = \frac{lt^3}{6}$.



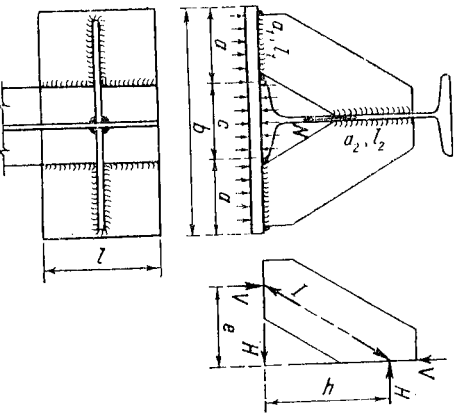


Fig. XVII. 10. Sollicitarea întăririlor.

În secțiunea 2 — 2 se dezvoltă un moment

$$M_2 = \frac{N(\theta - c_1)^2}{8b} \quad (\text{XVII.5})$$

Placa și talpa fiind solidarizate prin sudură, înălțimea secțiunii 2 — 2 este $t_2 = t + t_1$, deci $W_2 = h_2^2/6$. Efortul unitar în secțiunea 2 — 2 este

$$\sigma = \frac{M_2}{W_2} \leq R. \quad (\text{XVII.6})$$

Sudura de prindere trebuie să ia întreg efortul de alunecare dintre secțiunile 1 — 1 și 2 — 2.

Cînd placa are întărituri se verifică și întăriturile și prinderea lor (fig. XVII. 10). Unei întărituri îi revine o forță verticală $V = \frac{P}{b} a$.

Această forță produce un moment $M = Ve$; forțele H au valoarea $H = M/h$. În întărituri se dezvoltă o sollicitare de compresune $I = \sqrt{V^2 + H^2}$. Sudurile de prindere sînt sollicitate de V și H . În sudura care prinde întăritura de placa orizontală vor rezulta:

$$\tau_1 = \frac{V}{2a_1 l_1} \quad \text{și} \quad \tau_2 = \frac{H}{2a_1 l_1} \quad (\text{XVII.7})$$

Trebuie ca

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} \leq 0,70 R. \quad (\text{XVII.8})$$

Prinderea de inima grinzii se dimensionează asemănător.

Întăritura se verifică la sollicitarea din compresune I , ca o bară comprimată axial.

Placa, în funcție de raportul dimensiunilor ei, se verifică considerîndu-se ca o consolă sau ca o placă încastată pe două laturi și liberă pe alte două, după raportul dimensiunilor plăcii.

3. REZEMAREA GRINZILOR PRIN PIESE DE REAZEM

a. Alcățuire

Rezemarea directă a grinzilor prezintă unele inconveniente, mai ales în cazul grinzilor cu deschidere mare; din cauza încovoierii grinzilor con-factul tînde să se facă numai pe o porțiune din suprafața de rezemare. Pre-

siunea pe suprafața de contact se mărește spre marginea inferioară, din cauza distribuției neuniforme; reacțiunea se deplasează spre marginea inferioară (fig. XVII. 11). Pe de altă parte, rezemarea directă nu lasă liberă mișcarea grinzii provocată de variațiile de temperatură și de deformația din încovoieră, ceea ce duce la apariția unor sollicitări, unele importante. Pentru a înlătura aceste inconveniente, rezemarea se face prin intermediul unor piese, care pe de-o parte limitează deplasarea reacțiunii, iar pe de altă parte lasă libere unele mișcări.

Cele mai simple piese de rezemare sînt plăciile de reazem. Pentru a lăsa libere rotirile, fața superioară a plăcii se execută cu o suprafață curbă cilindrică cu raza de 300—800 mm. La reazemele fixe, pentru a se împiedica deplasarea grinzii, în tălpile grinzii se fac găuri, prin care se trec șuruburi sau dornuri, fixate de placa de reazem; alteleori, plăciile au reborduri, care se ridică lateral și care pătrund parțial în creștătură făcute în talpa grinzii sau într-o placă fixată de aceasta (fig. XVII. 12).

La reazemele mobile, pentru a se lăsa liberă mișcarea longitudinală grinzii, placa de reazem, cu fața cilindrică are numai reborduri laterale; deplasarea grinzii se face prin alunecare.

Cînd rezemarea grinzii se face pe capul unui stîlp metalic sau de beton armat, ori pe consolele acestora, reazemul fix este alcătuit ca în fig. XVII. 13. Dacă forțele orizontale în lungul grinzii sînt mari și ar solicieta mult șuruburile, se adoptă o soluție ca în fig. XVII. 14, spre a se evita încovoiera șuruburilor. Piesa de centrare I se fixează de grindă prin sudură și deplasarea ei în sens

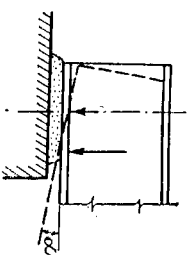


Fig. XVII. 11. Deplasarea reacțiunii.

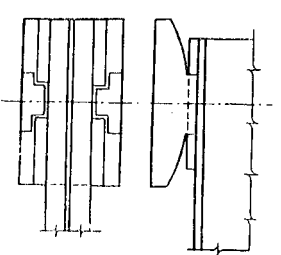


Fig. XVII. 12. Reazem fix cu placă.

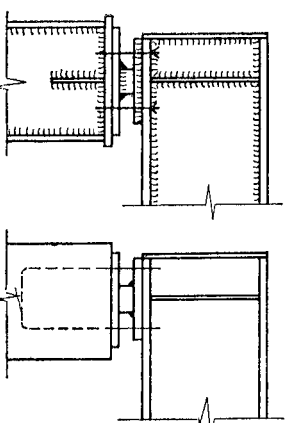


Fig. XVII. 13. Rezemare pe capul stîlpului.

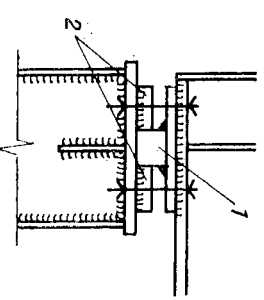


Fig. XVII. 14. Rezemare cu piese pentru oprirea deplasării.

longitudinal este împiedicată de prăgurile 2, fixate prin sudură de placa din capul șlipului; uneori piesa 1, pentru o mai bună centrare a reacțiunii, se rotunjește la partea inferioară.

b. Verificarea plăcilor de reazem

Presiunea sub placă (fig. XVII. 15) este

$$p = \frac{N}{ab}. \quad (\text{XVII.9})$$

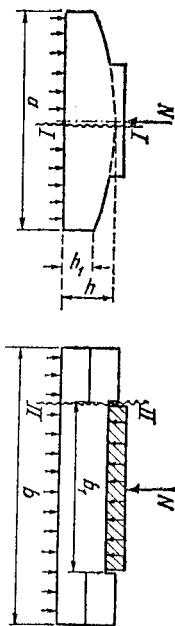


Fig. XVII. 15. Solcătura plăcii.

Placa se verifică la încovoiere. Momentul încovoietor în secțiunea I—I este

$$M = \frac{N \cdot a}{8} \quad (\text{XVII.10})$$

iar efortul unitar în placă

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \leq R. \quad (\text{XVII.11})$$

În sens transversal se ia practic o lățime $b \geq 1,5 b_1$, b_1 fiind lățimea grinzii. În secțiunea II—II se dezvoltă un moment

$$M = \frac{N}{ab} a \frac{(b-b_1)^2}{8} = \frac{N}{8b} (b-b_1)^2. \quad (\text{XVII.12})$$

Modulul de rezistență al secțiunii plăcii, care are partea superioară curbă, se poate determina exact sau aproximativ, considerând o înălțime corectată egală cu $0,66 h$, care este acceptabilă pentru $h_1 \approx 0,5 h$; în acest caz $W = a (0,66 h)^2/6$.

4. REAZEME CU ARTICULAȚII

a. Alegătura reazemelor cu articulații

La rezemarea cu plăci, raza de curbură a feței cilindrice fiind destul de mare, poziția reacțiunii se deplasează într-o măsură oarecare, ceea ce în unele cazuri ar putea să nu fie admis. La reazemele cu articulații poziția

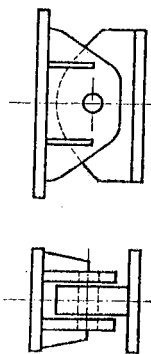


Fig. XVII. 16. Reazeme cu articulații.

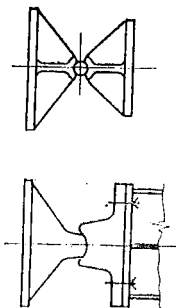


Fig. XVII. 17. Reazeme cu piese turnate.

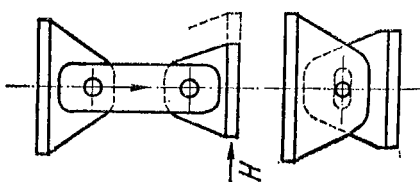


Fig. XVII. 18. Reazeme cu rostogolire și pendulare.

reacțiunii este mai bine precizată, datorită razei mici pe care o au piesele în contact.

În cazul reazemelor fixe articulația poate fi realizată cu un bulon de articulație (fig. XVII. 16); o altă soluție o constituie reazemele cu genunchi (fig. XVII. 17).

În unele situații se fac reazeme cu articulații mobile; realizarea acestora se poate face ca în fig. XVII. 18, mișcarea obținându-se prin rostogolire sau prin pendulare.

Buloanele de articulație și piesele aparatului de reazem se fac din oțeluri carbon de calitate turnate sau forjate, pentru a rezista la presiunile locale mari.

b. Verificarea reazemelor cu articulații

Buloanele de articulație pot fi ajustate sau nu (fig. XVII. 19). În cazul când bulonul nu este ajustat, rezemarea se face pe o suprafață redusă, teoretic fiind aceea a doi cilindri de rază r_1 și r_2 . Verificarea se face cu relația

$$\sigma = 606 \sqrt{\frac{N}{b} \frac{r_1 - r_2}{r_1 r_2}} \leq R, \quad (\text{XVII.13})$$

în care b este lungimea de contact și R este rezistența de calcul la presiuni locale.

Dacă bulonul este bine ajustat, transmiterea presiunilor se face pe întreaga suprafață de contact. În practică se realizează această suprafață

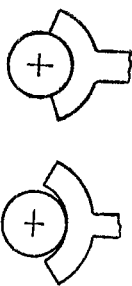


Fig. XVII. 19. Așezarea buloanelor.

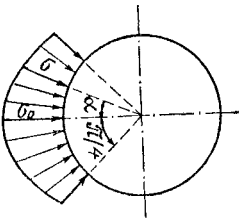


Fig. XVII. 20. Diagrama presiunilor.

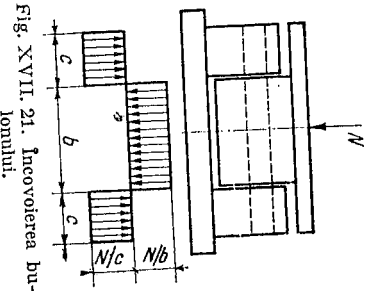


Fig. XVII. 21. Incovoirea bulonului.

corespunzătoare unui unghi egal cu $\pi/2$ (fig. XVII. 20). Admițând că presiunile variază după legea

$$\sigma = \sigma_0 \cos \alpha$$

(XVII.14)

rezultă

$$N = 2br \sigma_0 \int_0^{\alpha} \cos^2 \alpha d\alpha.$$

(XVII.15)

Prin integrare se obține

$$N = rb \sigma_0 \left(\alpha_0 + \frac{\sin 2\alpha_0}{2} \right).$$

(XVII.16)

Pentru $\alpha_0 = \pi/4$ rezultă

$$N = 1,28 br \sigma_0.$$

(XVII.17)

Cu relațiile (XVII. 16) și (XVII. 17) se poate alege diametrul bulonului.

Rezistența de calcul R_t se ia de obicei sportivă, avînd un caracter local;

diferite prescripții admit un spor de 30%, adică $R_t = 1,3 R$.

Celelalte piese ale reazemelor cu articulații și cu genunchi se verifică după regulile obișnuite.

Buloanele articulațiilor din fig. XVII. 16 și XVII. 18 este necesar să fie verificate și la încovoirea tijei. Încălcarea la care este supusă tija bulonului de articulație rezultă din fig. XVII. 21. Dacă în articulație există și o împingere orizontală H , tija bulonului este solicitată la o încărcare pe un centru metru lungime egală cu

$$\frac{\sqrt{N^2 + H^2}}{b}$$

(XVII.18)

5. REZEME CU RULOURI

a. Alcătuirea reazemelor cu rulouri

Rezeamele cu rulouri sînt rezeame mobile; funcționează prin rostogolire și due la forțe orizontale mai mici decît rezeamele prin frecare.

Rezeamele cu rulouri sînt alcătuite din două piese, între care se montează unul sau mai multe rulouri.

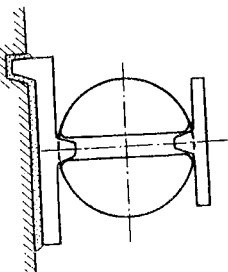


Fig. XVII. 22. Reazem cu un rulou.

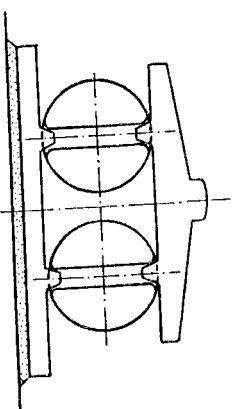


Fig. XVII. 23. Rezeame cu două rulouri.

La rezeamele cu un rulou (fig. XVII. 22) se realizează în același timp și o articulație; la cele cu două sau mai multe rulouri este necesar ca piesa superioară să fie alcătuită astfel încît poziția reacțiunii să rămîină cît mai apropiată de cea inițială, pentru a se lăsa liberă rotirea grinzii și a se evita încălcarea suplimentară a ruloului interior (fig. XVII. 23). Poziția rulourilor în timpul deplasărilor se menține prin diferite măsuri; un mijloc obișnuit constă în prevederea unor ciocuri la placa superioară și cea inferioară care pătrund într-un șanț tăiat la capetele rulourilor. Ciocurile au fețele laterale înclinate spre a permite mișcarea rulourilor numai în anumite limite. Nu este indicat să se folosească rezeame cu trei rulouri (număr impar) și nici cu mai mult de patru rulouri.

Diametrul rulourilor la rezeamele cu un bulon poate ajunge pînă la 300 mm și excepțional la 400 mm; cînd reacțiunea reazemului este mai mare se trece la rezeame cu două rulouri. Obișnuit, diametrul rulourilor se ia între 120 și 200 mm.

b. Calculul reazemelor cu rulouri

La rezeamele mobile este necesar să se cunoască deplasarea capătului grinzii cu reazem mobil sub diferite influențe. Deplasarea totală Δ se compune din $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, în care Δ_1 este deplasarea dată de variația de temperatură și Δ_2 deplasarea dată de alungirea tălpilor inferioare sub acțiunea încovoierii. Deplasarea dată de variația de temperatură se poate

serie $\Delta_1 = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (t - 10^\circ\text{C}) l$, în care l reprezintă temperatura maximă sau minimă.

Aparatele de reazem mobile se așază astfel încît la $+10^\circ\text{C}$, grinda fiind descărcată, aparatul să ocupe poziția medie. Exprimînd pe Δ_1 în milimetri și pe l în metri, relația devine

$$\Delta_1 = 0,012(t - 10^\circ\text{C}) l [\text{mm}]. \quad (\text{XVII.19})$$

Deplasarea dată de alungirea tălpii inferioare a grinzii sub acțiunea încovoierii ei sub încărcări se poate scrie $\Delta_1 = \frac{h}{2} \text{tg } \alpha$, în care h este înălțimea grinzii pe reazem și α înclinarea tangentei pe reazem la fibra medie deformată (fig. XVII. 24).

Trebuie observat că în timpul rostogolirii, dacă placa superioară are o deplasare Δ , centrul rului se deplasează cu $\frac{\Delta}{2}$. Pentru a se fiine seama de unele erori de montaj, cum și de alte influențe secundare, mișcarea aparatelor de reazem se limitează la o deplasare într-un sens și altul egală cu $1,5 \Delta$. La această deplasare rulourile se blochează (fig. XVII. 25). Înclinarea ciorurilor se poate determina grafic sau analitic. Când sînt mai multe rulouri, între rulouri se lasă o distanță de 30—40 mm. Este recomandabil ca numărul rulourilor să fie cu soț, deoarece altfel ruloul central s-ar încălca mai mult decît cele laterale.

Se poate determina diametrul rulourilor astfel încît presiunea locală să nu întrecă rezistența admisibilă la presiunea locală R_l . Pornind de la relația cunoscută

$$606 \sqrt{\frac{N}{mb}} = R_l \quad (\text{XVII.20})$$

se obține, ridicînd la pătrat și înlocuind pe r cu $\frac{d}{2}$

$$d = 73,4 \times 10^4 \frac{N}{mbR_l}. \quad (\text{XVII.21})$$

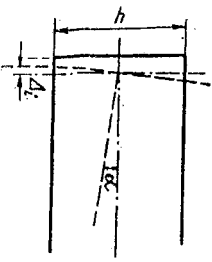


Fig. XVII. 24. Deplasarea din încovoiere.

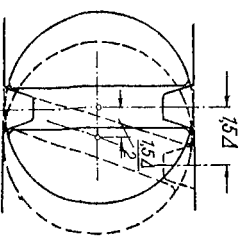


Fig. XVII. 25. Rostogolirea rulourilor.

Se poate face calculul și cu relația

$$\sigma = \frac{N}{mb} \leq R_g. \quad (\text{XVII.22})$$

În aceste relații n este numărul rulourilor, R_l este rezistența la presiune locală și R_g presiunea pe suprafața diametrală. În această expresie N reprezintă reacțiunea maximă pe reazem.

Între grindă și balansierul superior se așază o placă, prinsă de talpa inferioară a grinzii cu nituri cu capul inferior frezat sau cu sudură la grinzile sudate. Lățimea plăcii se ia cu 20—40 mm mai mare decît lățimea tălpii grinzii. Lungimea ei se determină astfel încît întreaga reacțiune să se transmită la placă prin guseul, respectiv înima grinzii, presiunea admisibilă fiindu-se în acest caz egală cu $1,5 R$. Se admite să se introducă în suprafața de reazem și grosimea arpiilor cornierelor, dacă întreaga suprafață de reazem este ajustată. Grosimea plăcii se ia de 20—40 mm. Placa servește la o bună transmitere a presiunilor pe placa superioară a reazemului și la fixarea grinzii, în ea lăsîndu-se golurile în care pătrund rebordurile plăcii superioare a reazemului.

Placa superioară se verifică la presiunea locală și la încovoiere. Placa inferioară se dimensionează fiind seama de deplasarea maximă a aparatului de reazem. Se verifică presiunile sub placa reazemului.

6. BAZELE STILPIILOR

a. Alcătuire

Pentru rezemarea stîlpilor pe fundații, partea lor inferioară se amenajează astfel încît să transmită fundației solicitările care rezultă din sistemul static adoptat. Se ajunge să se creeze o bază a stîlpului, care capătă forme și dezvoltări ce depind de mărimea stîlpului și de solicitările pe care le are de transmis fundației.

Cea mai simplă bază este formată de o placă prinsă de stîlp prin sudură (fig. XVII. 26); dacă este necesară o placă cu dimensiuni mai mari, aceasta se întărește cu plăci sau corniere (fig. XVII. 27).

În cazul unor stîlpi mari, cu secțiune din elemente depărtate, baza stîlpului se dezvoltă mult. În acest caz, placa de bază se întărește cu plăci verticale, legate de ramurile stîlpului (fig. XVII. 28); ramurile stîlpului pot ajunge pînă la placa de bază orizontală sau se pot întinde la plăcile verticale. Pentru a ușura montajul, plăcile verticale se pot prelungi în afara plăcii orizontale (fig. XVII. 29).

Pentru a nu rezulta plăci de bază orizontale prea groase se prevăd și alte plăci verticale de rigidizare, care formează reazeme intermediare pentru placa orizontală.

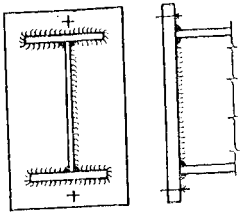


Fig. XVII. 26. Bază cu placă.

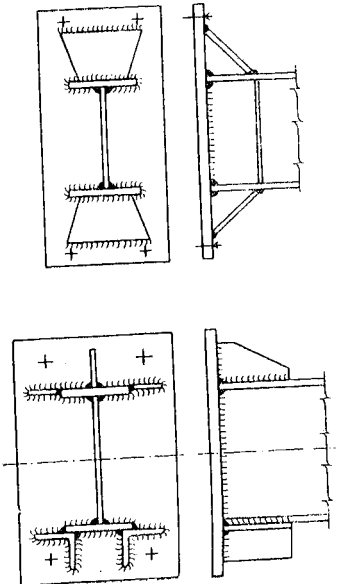


Fig. XVII. 27. Bază cu placă și înălțiri.

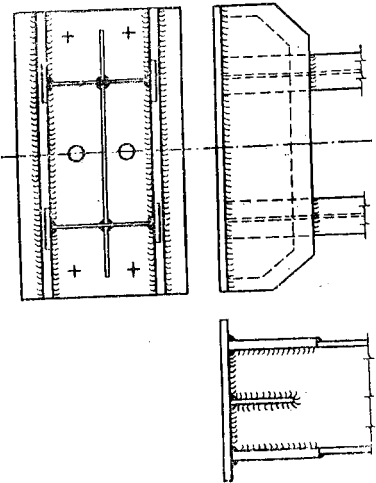


Fig. XVII. 28. Bază pentru stâlpi din elemente deparțate.

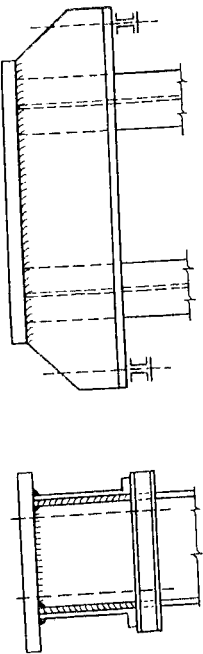


Fig. XVII. 29. Bază cu grinzi pentru buloane.

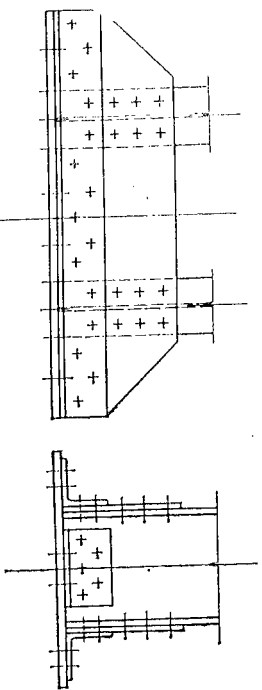


Fig. XVII. 30. Bază nituită.

La construcțiile nituite soluțiile sînt asemănătoare; pentru legarea elementelor bazei între ele și cu stîlpul sînt necesare corniere (fig. XVII. 30); în cazul unor stâlpi mari foarte dezvoltati se poate alcătui cîte o bază separată pentru fiecare ramură (fig. XVII. 31).

Bazele stîlpilor se fixează de fundații cu buloane de ancoraj. În cazul unor stâlpi mici care nu transmit momente sau au momente reduse, fixarea se face cu buloane cu diametrul de 25—30 mm. În cele mai multe cazuri, datorită momentelor mari, buloanele de ancoraj lucrează la întindere. În acest caz, numărul și diametrul buloanelor se determină prin calcul; diametrul unui bulon este recomandabil să nu fie mai mare decît 80—90 mm. Buloanele de ancoraj trebuie să pătrundă în masivul de fundație astfel încît să transmită prin aderență întreg efortul lor capabil; în unele cazuri, la diametre mari, lungimea de ancorare, care este aproximativ 35 d , rezultă prea mare. Pentru a se reduce lungimea de ancorare se pot folosi buloane cu plăci (fig. XVII. 32), cînd lungimea de ancorare se poate lua 18 la 20 d ; o altă soluție folosită uneori constă în ancorarea capetelor buloanelor de grinzi introduse în fundația.

Punțile buloanelor de ancorare este recomandabil să fie mai înalte decît la șuruburi obișnuite; se ia o înălțime h egală cu 1,0 la 1,5 d și pentru a se împiedica desurubarea se prevede și o contrapunție.

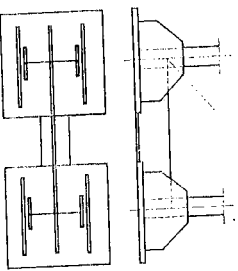


Fig. XVII. 31. Bază cu tălpi separate.

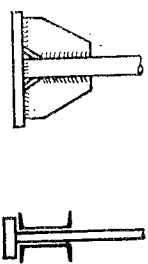


Fig. XVII. 32. Buloane pentru bazele stîlpilor.

Așezarea bazelor stîlpilor pe fundații se face mai întâi pe pene metalice; după aducerea stîlpilor în poziție definitivă se introduce sub bază mortar de ciment. Pentru a se asigura o umplere completă a spațiului dintre placă și fața superioară a fundației, placa orizontală se ciocănește sau se vibrează; la plăci cu suprafață mare este necesar să se lase în placă goluri prin care să iasă aerul și apa în exces. Grosimea straturii de mortar obținut este de 30—60 mm.

b. Calculul bazelor stîlpilor

Prin calculul bazelor stîlpilor se urmărește să se asigure o prindere între stîlp și baza capabilă să transmită de la stîlp la bază solicitările ce urmează să fie trecute fundației, să se asigure transmiterea acestor solicitări de la baza stîlpului la fundație și să se dimensioneze baza și buloanele de ancoraj la solicitările pe care le vor avea de suportat.

Dimensiunile în plan ale bazei stîlpilor depind de mărimea și felul solicitărilor. În cazul unei forțe N aplicată centric, dimensiunile l și b în plan ale bazei, rezultă din relația

$$\frac{N}{bl} \leq R_b. \quad (\text{XVII.23})$$

La o bază care are de transmis o forță N și un moment M (fig. XVII.33), dimensiunile bazei se determină cu relația

$$\frac{N}{bl} \left[1 \pm \frac{6e}{l} \right] \leq R_b, \quad (\text{XVII.24})$$

în care $e = M/N$.

Lățimea b a bazei se impune de la început, alegîndu-se o dimensiune, astfel ca placa să iasă lateral în afara părților verticale ale bazei cu $c = 60 \dots 100$ mm; dacă este necesar, dimensiunea c se ia mai mare, întorcîndu-se rigidizări verticale.

Presiunea pe beton R_b se ia în funcție de marca betonului, astfel

$$\begin{aligned} \text{Pentru B 100 } R_b &= 40 \text{ daN/cm}^2, \\ \text{B 150 } R_b &= 60 \text{ daN/cm}^2, \\ \text{B 200 } R_b &= 70 \text{ daN/cm}^2. \end{aligned}$$

Betonul fundației va avea marca cel puțin 100, pentru a se asigura protejerea buloanelor de ancoraj contra coroziunii.

În cazul cînd ar rezulta o dimensiune l prea mare se face corecturi, mărindu-se lățimea b .

La stîlpii cu baze izolate (fig. XVII.34) dimensiunile unei baze se stabilesc cu relația

$$\frac{N}{bl} \leq R_b \quad (\text{XVII.25})$$

Fig. XVII.33. Dimensiunile în plan ale bazei.

în care $N_1 = \frac{N}{2} + \frac{M}{h}$.

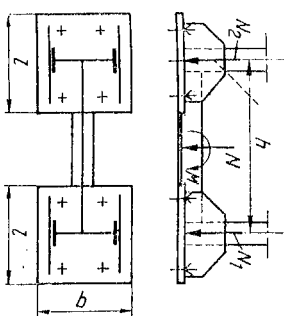


Fig. XVII.34. Solicitarea bazei lor separate.

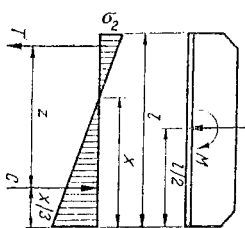


Fig. XVII.35. Distribuția presiunilor fără considerația buloanelor.

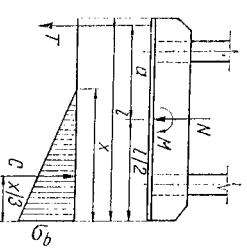


Fig. XVII.36. Distribuția presiunilor cu momente mari.

Calculul buloanelor de ancoraj la o bază ca în fig. XVII.33, dacă din relația (XVII.24) apar eforturi unitare de întîndere σ_2 mici (sub $0,3 \sigma_1$) se poate admite ca buloanele de ancoraj să se dimensioneze la rezultanta eforturilor unitare ce ar produce întîndere. Distanța x (fig. XVII.35) rezultă din

$$\frac{\sigma_2}{x} = \frac{\sigma_1}{l-x} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{l} \quad (\text{XVII.26})$$

de unde

$$x = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2} \cdot l. \quad (\text{XVII.27})$$

Luînd momentele în raport cu rezultanta eforturilor unitare de compresie, rezultă efortul T pe care îl iau buloanele de ancoraj:

$$T = \frac{M - N \left(\frac{l}{2} - x \right)}{z}. \quad (\text{XVII.28})$$

Diametrul unui bulon de ancoraj, în funcție de numărul acestora, se scoate din relația:

$$T = 0,8 n A_n R \quad (\text{XVII.29})$$

în care n este numărul buloanelor din zona întinsă, A_n aria secțiunii unui bulon la fundul filetului, iar R rezistența de calcul a oțelului bulonului.

Cînd eforturile unitare σ_2 date de relația (XVII.27) sînt mari, este necesar un calcul mai exact al distanței x , ținînd seama că la fundație se transmit prin bază numai eforturi unitare de compresie, cele de întîndere fiind luate de buloane (fig. XVII.36).

Distanța x se poate pune sub forma

$$x = \alpha l_0 \quad (\text{XVII.30})$$

astfel că rezultanta eforturilor unitare σ este

$$C = \frac{\alpha h_0 R_b}{2} \quad (\text{XVII.31})$$

Din proiecția pe verticală se obține

$$T = \frac{\alpha h_0 R_b}{2} - N \quad (\text{XVII.32})$$

Luând momentul în raport cu punctul de aplicație al forței T , rezultă

$$M + N \left(l_0 - \frac{l}{2} \right) = \frac{\alpha h_0^2 R_b}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right) \quad (\text{XVII.33})$$

Notînd

$$M_\alpha = M + N \left(l_0 - \frac{l}{2} \right) = N(\alpha + e) \quad (\text{XVII.34})$$

se obține, fiind seama de (XVII.33)

$$M_\alpha = \frac{\alpha h_0^2 R_b}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right) \quad (\text{XVII.35})$$

Dacă se notează $r_0^2 = \frac{h_0^2 R_b}{2M_\alpha}$ se obține

$$\frac{1}{r_0^2} = \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{3} \right) \quad \text{sau} \quad \alpha^2 - 3\alpha + \frac{3}{r_0^2} = 0 \quad (\text{XVII.36})$$

Valoarea lui α în funcție de r_0 este

$$\alpha = 1,5 - \sqrt{2,25 - \frac{3}{r_0^2}} \quad (\text{XVII.37})$$

În aceste relații R este rezistența admisă pe beton în funcție de marca betonului.

Cunoscînd pe α se obține T din relația (XVII.32).
În cazul bazelor cu tălpi separate (fig. XVII.34), forța T se obține cu relația evidentă

$$T = N_2 = \frac{N}{2} - \frac{M}{l} \quad (\text{XVII.38})$$

Calculul bulelor de ancoraj se face în ipoteza cea mai defavorabilă, cu M maxim și N minim.

Placa de bază la bazele fără întărituri se poate calcula considerînd porțiunea trepezoidală hașurată (fig. XVII.37) ca o consolă. La marginea stîlpului momentul este

$$M = A_1 c_1^2 \quad (\text{XVII.39})$$

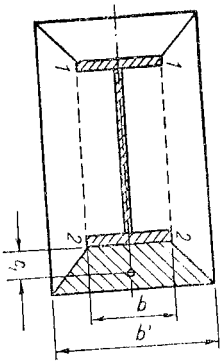


Fig. XVII.37. Dimensionarea plăcii bazei fără întărituri.

în care: A_1 este suprafața hașurată; c_1 — distanța de la centrul de greutate al suprafeței la marginea stîlpului; p — presiunea pe fundație, luată cu valoarea medie în zona respectivă de placă.

Considerînd că lățimea efectivă este

$$b, \text{ rezultă grosimea plăcii de bază:} \quad t = \sqrt{\frac{6M}{pR}} \quad (\text{XVII.40})$$

Grosimea plăcii se ia între 20 și 40 mm; dacă rezultă necesare grosimi mai mari, se prevăd întărituri.

În cazul unor baze cu rigidizări, placa orizontală este împărțită în porțiuni cu diferite moduri de rezemare (fig. XVII.38); rezultă plăci în consolă și plăci rezemate pe contur. La plăcile rezemate pe contur, de tipul 1, cînd $l_2 < 2 l_1$, și tipul 2, cînd $l_2 > 0,5 l_1$, calculul se face considerînd repartiția presiunilor pe două direcții; momentul încovoietor pentru o fișie de 1 cm lățimea este

$$M = \alpha p l_1^2 \quad (\text{XVII.41})$$

Valorile coeficientului α sînt date în tabelul XVII.1.

TABELUL XVII.1

Valoarea coeficientului α din expresia $M = \alpha p l^2$												
l_2/l_1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	>2,0
α	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081	0,086	0,091	0,094	0,098	0,100	0,125
l_2/l_1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0
α	0,060	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,128	0,130	0,132	0,133

Plăcile tipul 2, cînd $l_2 < 0,5 l_1$ și plăcile tipul 3 se calculează ca plăci în consolă.
Grosimea t a plăcii este dată de valoarea cea mai mare a momentului și rezultă:

$$t = \sqrt{\frac{6M}{p}} \quad (\text{XVII.42})$$



Fig. XVII.38. Compartimentarea plăcii bazelor mari.

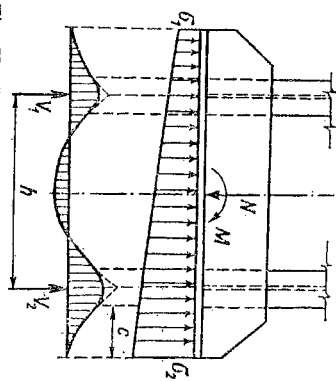


Fig. XVII. 39. Soluțarea plăcilor verticale.

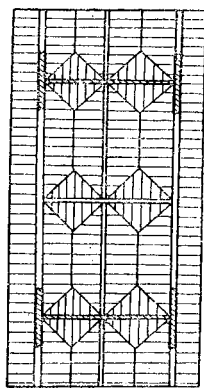


Fig. XVII. 40. Repartizarea presiunilor la încălzire.

În cazul când rezultă o placă cu $l > 40$ mm, alăturarea bazei este nerățională.

Grinzile sau plăciile verticale care leagă ramurile verticale ale stîlpului de bază, se consideră grinzi cu console (fig. XVII. 39). Momentul maxim apare în general la una din console și este

$$M = \frac{bc^2}{2} p. \quad (\text{XVII.43})$$

Aici c este distanța de la cordoanel de sudură care prinde ramura stîlpului și placa verticală pînă la marginea plăcii de bază.

Pentru verificarea eforturilor în placa verticală se consideră la determinarea modului de rezistență numai placa verticală, dacă sudurile de prindere dintre placa verticală și placa orizontală nu sînt dimensionate astfel încît acestea să lucreze împreună.

În cazul unei baze dezvoltate cu diferite nervuri de întărire, se consideră că fiecarei nervuri îi revine o suprafață de încălzire limitată prin bisectorale unghiurilor (fig. XVII. 40).

Nervurile inferioare se calculează la încălzirea ce le revine; nervurile în console se dimensionează la momentul încovoitor și la forța tăietoare din planul lor de prindere.

Prinderile diferitelor nervuri de grinzi și ale grinzilor verticale de ramurile stîlpilor se face la solicitările pe care acestea le transmit la legătura. Prinderea unei ramuri de bază se face la întreaga valoare a solicitării ce revine unei ramuri, de exemplu N_1 , care este (v. fig. XVII. 34):

$$N_1 = \frac{N}{2} + \frac{M}{h}. \quad (\text{XVII.44})$$

După modul de prindere, se ține seama că o parte din solicitarea ramurii se transmite plăcii direct prin sudurile de prindere de placă și prin eventuala rigidizări.

XVIII. ELEMENTE DE CONSTRUCȚII DIN PROFILE CU PEREȚI SUBȚIRI

1. FABRICAREA PROFILELOR

a. Materiale

Profilele cu pereți subțiri formate la rece se fabrică din benzi de oțel laminate la cald sau la rece; oțelurile folosite obișnuit sînt OL 32, OL 34, OL 37 și OL 52. Oțelurile utilizate la fabricarea profilelor este necesar să aibă o deformabilitate ridicată, condiție în general îndeplinită de aceste mărci de oțeluri; această proprietate permite ca benzile de oțel să fie supuse la deformări permanente mari, fără a se rupe. Este preferabil ca oțelurile să prezinte palier de curgere.

O altă calitate pe care trebuie să o prezinte oțelurile este aceea de a se suda în condiții bune, majoritatea construcțiilor făcute cu aceste profile fiind sudate. În țara noastră oțelul folosit la fabricarea profilelor cu pereți subțiri formate la rece, utilizate la construcții metalice, este marca OL 37, clasele 1, 2 și 3 și în unele cazuri OL 52, clasele 2 și 3. Oțelurile marca OL 32 și OL 34 au o tendință de ecruisare mai redusă în timpul procesului de formare la rece; la oțelurile marca OL 37 și OL 52 tendința de ecruisare este mai pronunțată, dar diferențiată după forma profilului și după tehnologia aplicată la prelucrarea la rece. Se pot fabrica profile subțiri formate la rece și din alte mărci de oțeluri care prezintă proprietățile cerute oțelurilor pentru astfel de profile.

Caracteristicile mecanice ale oțelurilor după confecționarea profilelor, stabilite pe epruvete scoase din profile, sînt în general cel puțin egale cu ale oțelurilor benzilor din care s-au confecționat profilele.

Dimensiunile și forma profilelor cu pereți subțiri formate la rece au abateri mai mici decît profilele laminate la cald; abaterile la grosimi sînt cele prescrie pentru benzi; în zonele de deformare plastică, la îndoituri, este posibil să apară o variație de grosime de pînă la $\pm 20\%$. Suprafața profilelor este netedă și fără suprapunerii de metal, fără incluziuni de zgură, sulfuri și altele.

b. Formarea profilelor și ecruisarea

Fabricarea profilelor cu pereți subțiri se face la rece la instalații de laminare, prevăzute cu role, sau la instalații de presat. La instalațiile cu role, ale căror forme și dimensiuni variază după forma profilului, banda de oțel

este supusă unei îndoiri progresive și continuă, în role succesive, formând un tren de laminare, forma definitivă obținându-se printr-o singură trecere prin laminor.

Înainte de a fi introduse în instalațiile de formare, benzile se taie la lățimea necesară obținerii profilului și se înfășoară în formă de colaci.

Profilele cu pereți subțiri formate la rece nu au tensiuni reziduale rezultate din răcire ca profilele laminate la cald sau ca cele obținute prin sudare; în schimb, în procesul de formare la rece, materialul este supus *ecruisării*, ceea ce are ca urmare ridicarea limitei de curgere.

Fenomenul de ecrusare în procesul de formare la rece al profilelor este complex; gradul de ecrusare depinde de întreg lanțul de deformații care are loc pe durata formării, de tehnologia aplicată, de forma și dimensiunile profilului și chiar de marca oțelului.

Dacă o piesă metalică este supusă la întindere peste limita de curgere, materialul se ecrusează și limita de curgere se ridică; orice solicitare ulterioară în același sens nu schimbă situația decât dacă întinderea se face peste valoarea solicitării anterioare, când se produce o nouă creștere a limitei de curgere, deci un supliment de ecrusare. Într-o măsură destul de mică se ridică și rezistența la rupere. Dacă după prima întindere epruveta este supusă la o solicitare de compresune, limita de curgere se ridică puțin, sau nu se ridică (efect Bauschinger), în funcție de oțelul folosit. Efectele ecrusării ridică (efect Bauschinger), în funcție de diferite faze ale procesului de formare și de direcțiile și sensul solicitărilor în diferite faze ale procesului de formare. O ecrusare puternică are loc în zonele de îndoire a tablei, la colțuri, cu atât mai mare cu cât raza întoarcă a îndoirii este mai mică; în schimb părțile plate ale profilului rămân practic neecruisate sau se ecrusează într-o mică măsură. Ecrusarea nu este uniform distribuită pe secțiunea transversală a unui profil format la rece.

În ansamblul său, profilul prezintă însă o ridicare a limitei de curgere, care poate fi calculată sau determinată experimental. Decupând dintr-un profil epruvete de lățimi egale de pe tot conturul unui profil, se obțin prin încercarea la întindere diferite valori pentru limita de curgere, după poziția epruvetei; cu aceste valori se poate determina o valoare medie a limitei de curgere. Un alt procedeu este să se încerce la întindere o piesă cuprinzând întreaga secțiune a profilului.

Profilele formate la rece prin presare la mașini de îndoit sînt mai puțin ecrusate, față de cele formate la laminare cu role.

Limita de curgere constituie baza și pentru calculul construcțiilor metalice din profile cu pereți subțiri formate la rece și deci ridicarea valorii limitei de curgere poate fi considerată avantajoasă.

Încercări făcute la Catedra de construcții metalice de la Institutul de construcții București pe numeroase tipuri de profile cu pereți subțiri formate la rece au permis să se tragă concluzia că, la profilele formate la laminare

cu role, o ridicare a limitei de curgere de 5—6% față de valoarea limitei de curgere a benzilor din OL 37 poate fi admisă în general; în acest caz, limita de curgere se referă la valoarea medie a întregii secțiuni.

Unele prescripții de calcul din diferite țări, deși acceptă că se produce o ridicare a limitei de curgere prin ecrusare, nu o iau în considerare la calcul sau admit să fie luată dacă este verificată experimental.

c. Rezistențe admisibile

Pe baza a numeroase încercări făcute la Catedra de construcții metalice de la Institutul de construcții din București pe diferite profile formate la rece prin laminare și prin presare din OL 37, se poate trage concluzia că pentru profile formate la rece prin laminare se poate admite o limită de curgere minimă de 2 500—2 600 daN/cm². Cu un coeficient de siguranță egal cu 1,60 pentru gruparea de încercări I și 1,40 pentru gruparea a II-a, valorile rezistențelor admisibile sînt date în tabelul XVIIII. 1.

TABELUL XVIIII. 1

Rezistențe admisibile pentru OL 37, în daN/cm²

Solicitarea	Simbol	Coeficient aplicat în raport cu σ_a	Gruparea de încercări	
			I	II
Întindere, compresune, încovolare	σ_a	1,00	1 600	1 800
Forțecare	τ_a	0,60	950	1 100

Notă.

— Pentru gruparea a II-a de încercări rezistența admisibilă se determină prin multiplicarea cu 1,30 a rezistenței admisibile din gruparea I de încercări, corespunzătoare solicitării respective.

— Rezistențele admisibile din acest tabel sînt pentru profile cu pereți subțiri formate la rece în instalații de laminare cu role.

Pentru profilele cu pereți subțiri formate la rece prin presare, creșterea limitei de curgere prin ecrusare fiind neînsemnată, valoarea limitei minime de curgere se ia egală cu aceea a benzilor din care se fabrică profilele și care în cazul oțelului marca OL 37 este $\sigma_a = 2 400$ daN/cm²; valorile rezistențelor admisibile se obțin aplicînd aceiași coeficienți de siguranță, menționați mai înainte.

Pentru profile cu pereți subțiri formate la rece prin laminare din alte mărci de oțeluri, limita de curgere se poate admite mărită, dacă această rezultă din încercări.

2. FORME DE PROFILE CU PEREȚI SUBȚIRI FORMATE LA RECE

Prin formarea la rece se poate obține din benzii de tablă o gamă foarte variată de profile. Unele din acestea au forme care permit realizarea elementelor de construcții pentru diferite scopuri ca: pane pentru acoperiș, ferme și grinzi cu zăbrele în general, stâlpi și rigle pentru șarpanta pereților, table profilate pentru învelitoare și pentru pereți etc.

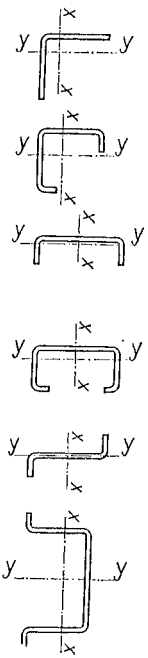


Fig. XVIII. 1. Forme de profile.

Dintre profilele fabricate curent (fig. XVIII. 1) sînt: corniere cu aripi egale și neegale simple sau cu ciocuri, profile U simple sau cu ciocuri, profile Z și profilele pătrate \square . Îndoirea tablelor la colțuri se face cu o anumită rază, în funcție de grosimea tablei și de calitatea oțelului. În unele țări raza interioară se ia $r = t$; în altele, pentru table din oțeluri marca OL 37 și OL 52, raza interioară se ia între $1,2t$ și $2,0t$, dimensiuni adoptate și în țara noastră. Din profilele simple se pot realiza *profile compuse* (fig. XVIII. 2), asamblate prin puncte de sudură.

Tablele cutate pentru învelitori și pereți au diferite forme (fig. XVIII. 3) și pot fi combinate între ele sau cu alte elemente pentru a se realiza panouri care să suporte încălziri mai mari (fig. XVIII. 4).

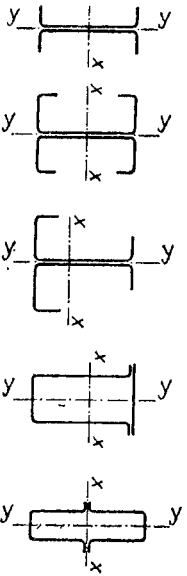


Fig. XVIII. 2. Combinații de profile.

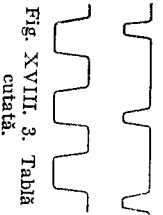


Fig. XVIII. 3. Tablă cutată.

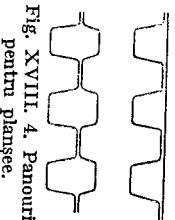


Fig. XVIII. 4. Panouri pentru planșee.

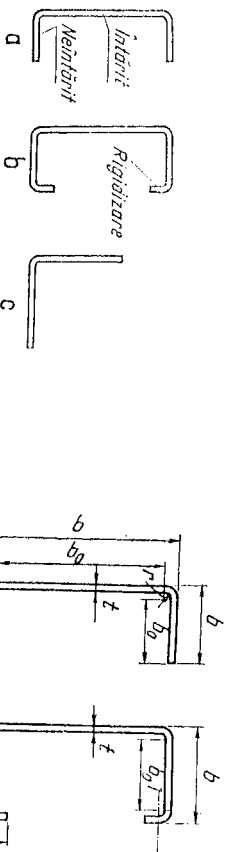


Fig. XVIII. 5. Profile cu pereți neîntăriți și întăriți.

Fig. XVIII. 6. Dimensiunile elementelor profililor.

În cele mai multe cazuri profilele și tablele cutate se livrează protejate prin acoperiri cu zinc; zincarea se face la cald; fiind se livrează nezincațate, este necesar ca după formarea la rece profilele și tablele să fie protejate prin acoperire cu o peliculă de ulei, deoarece sînt expuse ușor coroziunii în special în zonele ecrușate.

Un profil cu pereți subțiri format la rece se compune din părți plane (pereți), legate între ele prin îndoirurile de la colțuri; un perete poate fi deci limitat de două colțuri sau de un colț, cealaltă margine fiind liberă (fig. XVIII 5, a). Perețele mărginit de două colțuri este un *perete întărit*; cel cu margine liberă este *neîntărit*.

Profilul este compus deci din pereți întăriți și pereți neîntăriți.

Alte profile pot avea pereți mărginiți de colțuri de la care pleacă alți pereți, sau peretele este mărginit de un colț, de la care pleacă un perete, și de alt colț, format de o întăritură, numită *rigidizare* (fig. XVIII, 5, b); un astfel de profil are toți pereții întăriți.

O altă categorie de profile, cum sînt cornierele, au pereții mărginiți de un colț pe o latură și liberi pe alta (fig. XVIII. 5, c); profilul are toți pereții neîntăriți.

Rigidizările folosite la marginea unor pereți, pentru a-și îndeplini rolul de întărire a marginii, este necesar să aibă un moment de inerție egal cel puțin cu:

$$I_{min} = 1,83 t^4 \sqrt{\left(\frac{b_0}{t}\right)^2 - 280 000/\sigma_c} \geq 9,2 t^4 \quad (\text{XVIII. 1})$$

în care I_{min} este momentul de inerție în raport cu axa proprie $I-1$ a rigidizării paralelă cu peretele pe care îl întărește (fig. XVIII. 6), iar $b_0 = b - 2(t + \gamma)$. Dacă rigidizarea este formată dintr-un rebord îndoit în unghi drept, înălțimea acestuia trebuie să fie

$$a_{min} = 2,8 t \sqrt{\left(\frac{b_0}{t}\right)^2 - 280 000/\sigma_c} \geq 4,8 t.$$

Astfel de reborduri se pot folosi fiind suplețea peretelui nu este mai mare decît 60.

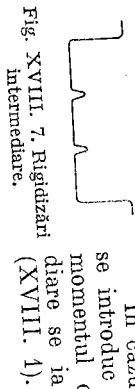


Fig. XVIII. 7. Rigidizări intermediare. (XVIII. 1).

3. FLAMBAJUL LOCAL AL PEREȚILOR PROFILIELOR CU PEREȚI SUBȚIRI

a. Considerații generale

La elementele cu pereți subțiri comprimate, flambajul local, care constă în pierderea stabilității pereților, poate apărea înainte de a se produce flambajul barei în ansamblul ei; apare necesar ca elementele respective să fie dimensionate astfel încât cedarea să nu se producă prin flambajul local.

Analiza făcută la cap. X, 5 și concluziile rezultate rămân valabile, în principiu și pentru profilele cu pereți subțiri formate la reze, urmând a se ține seama în plus de unele particularități și de studiile experimentale efectuate în cazul acestor profile.

Un profil cu pereți subțiri poate avea pereți întăriți pe o singură latură și liberi pe alta sau întăriți pe ambele laturi, în diferite cazuri la același profil putând exista ambele tipuri de pereți. În primul caz (fig. XVIII. 8, a), perețele se va ondula, marginea rigidizată rămânând rectilinie, iar în al doilea caz (fig. XVIII. 8, b), perețele se ondulează rămânând rectiliniu ambele margini.

La o bară ideală, pierderea stabilității locale se va produce când efortul unitar de compresivitate uniform distribuit va atinge rezistența critică

$$\sigma_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b_0} \right)^2 \quad (\text{XVIII. 2})$$

care depinde de legătura de margine; $\mu = 0,3$ și valoarea coeficientului k , care depinde de legătura de margine; $\mu = 0,3$ și valoarea coeficientului k , care depinde de legătura de margine; este $0,425$ când una din margini este liberă și 4 , când ambele margini sunt rigidizate, legăturile pe marginea rigidizată având caracterul unor articulații.

b. Pereți cu ambele margini rigidizate

Când valorile eforturilor unitare σ sînt suficient de mici, ondularia pereților este neînsemnată și distribuția acestora pe lățimea pereților este practic uniformă; în măsura în care valoarea eforturilor unitare σ crește, începe să se producă ondularia pereților, ceea ce face ca distribuția eforturilor unitare σ să nu mai fie uniformă; fisurile longitudinale

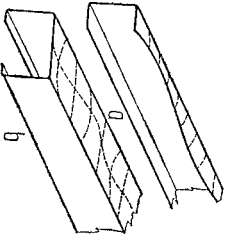


Fig. XVIII. 8. Deformarea pereților.

ale perețelui din apropierea marginilor întărite rămân rectilinii, pe când cele centrale se deformează lateral și ca urmare se încearcă mai puțin decât cele de margine.

Într-o fază oarecare, eforturile unitare σ ating pe margini valoarea σ_1 , în zona centrală rămânând sub valoarea medie; distribuția eforturilor unitare pe lățimea b_0 se face după curba abc (fig. XVIII. 9). În măsura în care eforturile unitare σ crește, neuniformitatea distribuției se accentuează, ajungând la limită după curba def , pe margini valoarea eforturilor unitare atingând valoarea limită de curgere. În oricare din aceste faze se pot determina lățimi b_1 , b_2 , pe care se consideră că ar exista eforturi unitare σ_1, σ_2 uniform distribuite și egale cu eforturile unitare distribuite pe lățimea b_0 rezultantă este egală cu aceea a eforturilor unitare pentru efortul după curbele abc respectiv def . Ca urmare, aceeași valoare pentru efortul unitar care acționează asupra perețelui și care este, în cazul distribuției neuniforme, egal cu aria suprafeței eforturilor unitare multiplicată cu grosimea t a perețelui, se poate obține înlocuind lățimea b_0 cu o lățime b' , simea t a perețelui, pe care eforturile unitare se distribuie uniform.

Determinarea lățimii eficiente b' prin calcule teoretice constituie o problemă foarte dificilă; pe baza a numeroase experiențe, în normele Institutului american de fonte și oțeluri, ediția 1968, a fost adoptată relația

$$\frac{b'}{t} = 1,9 \sqrt{\frac{E}{\sigma_{max}}} \left[1 - \frac{c}{b_0 t} \sqrt{\frac{E}{\sigma_{max}}} \right] \quad (\text{XVIII. 3})$$

care dă pentru raportul b'/t o valoare suficient acceptabilă pentru scopurile practice. Valoarea coeficientului c depinde de condiția $b'/t = b_0/t$, adică de lățimea b_0 pe care se acceptă că eforturile unitare pot fi luate uniforme distribuite pentru o valoare dată σ_{max} de regulă egală cu σ_c . În prescripțiile menționate, s-a admis $c = 0,415$, ceea ce pentru un oțel cu $\sigma_c = 2300 \text{ daN/cm}^2$, conduce la un raport $b_0/t = 38,3$, pînă la care lățimea b_0 este complet eficace. Admițînd pentru un oțel cu $\sigma_c = 1600 \text{ daN/cm}^2$ un raport $b_0/t = 40$, pînă la care lățimea b_0 este complet eficace și notînd $\sigma_{max} = 1,60 \sigma_c$, din relația (XVIII. 3) se obține $c = 0,37$; ca urmare rezultă

$$\frac{b'}{t} = \frac{2176}{\sqrt{\sigma_c}} \left(1 - \frac{424}{b_0 \sqrt{\sigma_c}} \right) \quad (\text{XVIII. 4})$$

În aceste condiții tălpile comprimate sînt complet eficace pînă la o valoare b_0/t limită egală cu $1600/\sqrt{\sigma_c}$. Relația (XVIII. 4) dă valoarea raportului

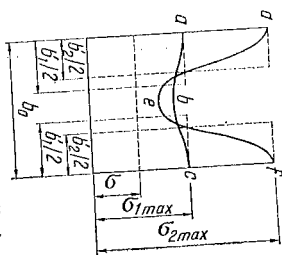


Fig. XVIII. 9. Distribuția eforturilor unitare σ pe lățimea unui perete deformat.

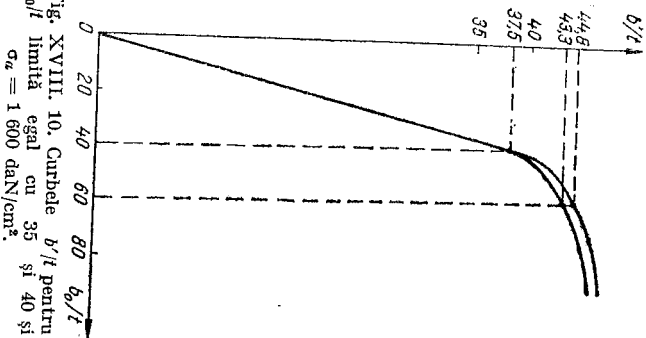


Fig. XVIII. 10. Carbură b_1/t pentru b_0/t limită egal cu 35 și 40 și $\sigma_a = 1600 \text{ daN/cm}^2$.

este tot $b_0/t = 40$; dacă suplețea $b_1/t < 20$, se poate lua suplețea $b_0/t = 50$. Pentru valori intermediare se poate interpola liniar. Elementele din fig. XVIII. 12 (table cutate), când sînt folosite ca elemente de rezistență, pot fi considerate ca elemente cu pereți rigidizați, formate din alăturarea mai multor elemente rigidizate cu două inimi, cu lățimea b_1 și înălțimea h .

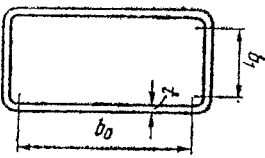


Fig. XVIII. 11. Profil tubular.

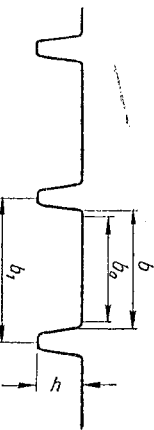


Fig. XVIII. 12. Elemente cu mai multe unde.

b_1/t pentru un anumit oțel în funcție de b_0/t ; astfel pentru $\sigma_a = 1600 \text{ daN/cm}^2$ și $b_0/t = 60$ se obține $b_1/t = 44,8$. Relația (XVIII.4) se poate pune și sub forma

$$\frac{b'}{t} = 2,176 \left[1 - \frac{424}{t} \frac{b_0}{\sqrt{\sigma}} \right] \quad (\text{XVIII. 5})$$

din care se poate obține b_1/t pentru o anumită valoare a raportului b_0/t în funcție de efortul unitar σ ; astfel, pentru $b_0/t = 60$ și $\sigma = 900 \text{ daN/cm}^2$, valoarea raportului b_1/t este aproximativ 55.

Valoarea raportului b_0/t limită obținut prin schimbarea coeficientului c din relația (XVIII. 3) în anumite limite, are o influență mică asupra raportelor b_1/t și deci și asupra eforturilor unitare calculate pentru diagrama întreg, după cum se vede din diagramele din fig. XVIII. 10.

În cazul pereților tubulari (fig. XVIII. 11), suplețea limită a unui perete crește în măsură în care rigiditatea pereților alăturați se mărește; când suplețea pereților considerați este $b_1/t = 40$, suplețea pereților considerați este $b_1/t = 40$, suplețea pereților considerați este $b_1/t < 20$, se poate lua suplețea $b_0/t = 50$.



Fig. XVIII. 13. Profile cu rigidizări intermediare.

c. Pereți cu rigidizări intermediare

Între în această categorie elementele din profile avînd forma din fig. XVIII. 13, cu una sau mai multe rigidizări intermediare. Momentul de inerție minim al rigidizărilor intermediare trebuie să aibă o valoare dublă față de momentul de inerție al unei rigidizări de margine, care poate fi considerată ca jumătate dintre rigidizări intermediare au arătat că pereții cu astfel de rigidizări sînt eficiente în totalitatea lor, dacă raportul limită al tuturor porțiunilor (subelementelor) dintre rigidizările intermediare și dintre acestea și pereții sau rigidizările de margine sînt cele arătate la pct. 3, b adică mai mici sau egale cu $1600/\sqrt{\sigma}$. În cazul cînd suplețea raportul b_0/t unui element este mai mare decît cea limită, dar nu depășește 60, lățimea efectivă a subelementului se determină ca la pct. 3, b , cu una din relațiile (XVIII. 4) sau (XVIII. 5), după caz; dacă suplețea b_0/t a subelementului este între 60 și 90, lățimea efectivă b'' a subelementului este dată de relația

$$\frac{b''}{t} = \frac{b'}{t} - 0,10 \left[\frac{b_0}{t} - 60 \right]. \quad (\text{XVIII. 6})$$

Cînd suplețea între rigidizări este mai mare ca suplețea limită ($1600/\sqrt{\sigma}$) se consideră active numai rigidizările intermediare cele mai apropiate de inima profilului.

d. Pereți cu o margine întărită și alta liberă

În cazul pereților care au o margine întărită și alta liberă (v. fig. XVIII. 8, a) se produce de asemenea ondulări mari cînd efortul unitar σ atinge o anumită valoare; ca urmare, eforturile unitare cresc spre marginea rigidizată.

Relația generală care dă rezistența critică la care se produce voalarea peretelui, considerat articulat pe o margine și liber pe alta, este cea dată de expresia (XVIII. 2), în care $k = 0,425$. Această presupune o placă perfect plană și fără defecte de structură. Și în cazul acestor profile s-au făcut numeroase experimente, care permit să se adopte unele relații de calcul ușor de aplicat în practică.

Un perete, avînd o margine rigidizată și alta liberă, nu-și pierde stabilitatea dacă raportul b_0/t rămîne sub o anumită valoare, în funcție și de marca oțelului. Se poate admite, confirmat și de experiențe, că pînă la o valoare

$b_0/t = 560/\sqrt{\sigma_c}$ nu există pericolul de voalare și că pe întreaga lățime b_0 se poate accepta o distribuție uniformă a eforturilor unitare; pentru OL 37 cu $\sigma_c = 1\ 600\ \text{daN/cm}^2$ acest raport este egal cu 11 și rezistența admisibilă la voalare, fiind raportul $b_0/t \leq 11$, se ia

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_c}{1,60} = 1\ 600\ \text{daN/cm}^2. \quad (\text{XVIII.7})$$

Pentru valori ale raportului $b_0/t > 11$, pierderea stabilității pereților are loc la valori ale eforturilor unitare mai mici decât σ_c . Rezistența admisibilă la voalare între valori ale raportului b_0/t cuprinse între $560/\sqrt{\sigma_c}$ și $1\ 265/\sqrt{\sigma_c}$ are o variație liniară dată de relația

$$\sigma_{av} = \left[0,827 - 0,364 \frac{b_0}{t} \cdot \frac{\sqrt{\sigma_c}}{10^3} \right] \sigma_c. \quad (\text{XVIII.8})$$

Cînd valoarea raportului b_0/t este mai mare decât $1\ 265/\sqrt{\sigma_c}$, rezistența admisibilă este dată de relația (XVIII.2), care, cu un coeficient de siguranță egal cu 1,60, conduce la expresia

$$\sigma_{av} = 588 \left(\frac{b_0}{b} \right)^2 10^4 \quad (\text{XVIII.9})$$

reprezentată în fig. XVIII.14 prin curba 1.

Din rezultatele experiențelor se trage concluzia că pentru alte forme de secțiuni decât cele formate din cornere, variația rezistenței admisibile este reprezentată mai corect de dreapta 2, dată de relația

$$\sigma_{av} = 1\ 500 - 22,4 \frac{b_0}{t}. \quad (\text{XVIII.10})$$

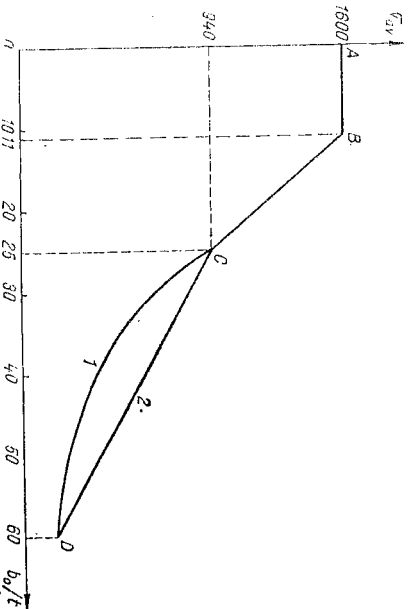


Fig. XVIII.14. Rezistențele σ_{av} la pereții nerigidizați.

În fig. XVIII.14 este prezentată variația rezistenței admisibile σ_{av} pentru OL 37; se vede că pentru valori ale raportului $\frac{b_0}{t} \geq \frac{560}{\sqrt{\sigma_c}}$, care pentru OL 37 are valoarea 11, valoarea rezistenței admisibile la voalare scade foarte repede, astfel că folosirea unor profile cu pereți rigidizați pe o singură margine peste acest raport devine neeconomică.

4. FLAMBAJUL BARELOR CU PEREȚI SUBȚIRI COMPRI-MATE AXIAL

a. Flambaj prin încovoiere în planul de flambaj

Flambează prin încovoiere în planul de flambaj profilele cu pereți subțiri închise și profilele deschise al căror centru de răsucre coincide cu centrul de greutate, cum sînt profilele dublu T și Z; alte forme de profile deschise, în funcție de dimensiunile părților care compun profilul, pot flamba de asemenea prin încovoiere în planul de flambaj.

Relația (X.17) care dă valoarea rezistenței critice de flambaj, ținînd seama și de imperfecțiunile barei, poate fi folosită și în cazul barelor cu pereți subțiri, în forma stabilită pentru elementele laminate la cald sau cu unele corectări determinate experimental.

La calculul prin metoda rezistențelor admisibile, folosită astăzi în general la proiectarea construcțiilor din profile cu pereți subțiri, se pune problema determinării rezistențelor admisibile la flambaj.

Prescripțiile AISI (Institutul american pentru fontă și oțeluri) din anul 1968 admit un coeficient de siguranță la flambaj egal cu 1,92 pentru orice valori ale coeficientului de zveltăță λ în cazul barelor din profile subțiri; pentru bare din laminate la cald prescripțiile americane admit un coeficient de siguranță egal cu 1,67 pentru $\lambda = 0$, care se mărește pînă la 1,92 pentru coeficienti λ mai mari din domeniul elastic. Se recunoaște că adoptarea unui coeficient de siguranță unic egal cu 1,92 conduce la valori ale rezistenței admisibile la flambaj pentru valori mici ale coeficientului de zveltăță λ prea acoperitoare.

În fig. XVIII.18 sînt prezentate curbile pentru rezistența critică și pentru rezistența admisibilă la flambaj după normele americane, notate cu 1, respectiv 2. În aceeași figură este trasată curba 3, care reprezintă de imperfecțiunile critice de flambaj conform relației (X.23), care ține seama și de imperfecțiunile barei reale, ceea ce explică în mare măsură diferențele dintre cele două curbe; curba 1 se referă la o bară teoretică. Coeficientul de siguranță, care trebuie aplicat rezistențelor critice de flambaj reprezentate de curba 3, este ca urmare mai mic decât cel care se aplică rezistențelor corespunzătoare curbei 1; fiind seama de modul cum sînt determinate rezistențele reprezentate de curba 3, este normal ca în acest caz coeficientul de siguranță să fie constant. Cu un coeficient de siguranță egal cu 1,60, aplicat rezistențelor

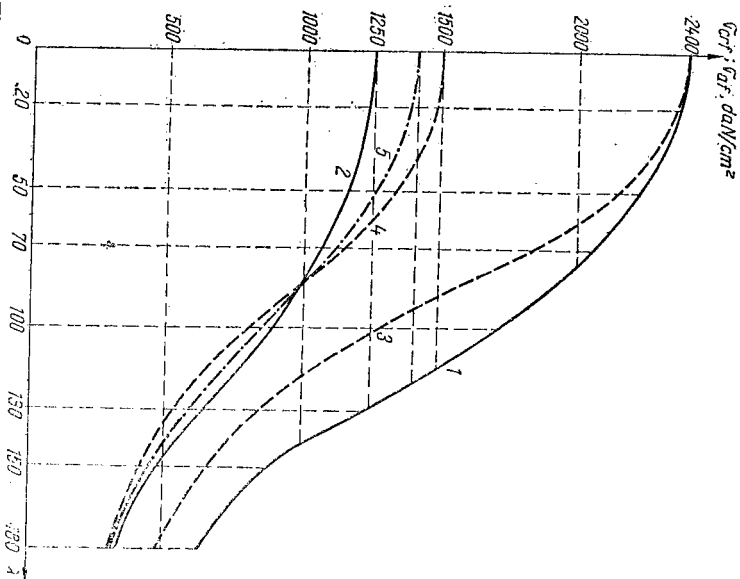


Fig. XVIII. 15. Rezistențe critice și admisibile la flambaj:
1, 2— σ_{cr} și σ_a după AISI; 3, 4— σ_{cr} și σ_a după relația (X.18); 5— σ_a corectat.

critice reprezentate de curba 3, rezultă rezistențele admisibile date de curba 4. Diferența între valorile date de curbele 2 și 4, îndosobi pentru $\lambda < 70$, este datorită coeficientului de siguranță egal cu 1,92, care trebuie apropiat ca prea acoperitor în acest domeniu; în domeniul $\lambda > 100$, coeficientul de siguranță egal cu 1,92 conduce la rezistențe admisibile la flambaj mai mici decât în cazul unui coeficient de siguranță de 2,1—2,3, cum se ia de regulă în această zonă pentru laminate la cald.

În fig. XVIII. 15 este trasată curba 5, cu unele corectări față de 2 și 4, care ține seama, într-o măsură oarecare, de obiectiile ce se pot aduce curbelor 2 și 4.

Cunoscând valoarea rezistenței admisibile la flambaj se pot determina valorile coeficienților de flambaj φ cu relația

$$\varphi = \frac{\sigma_{af}}{\sigma_a} \quad (\text{XVIII.11})$$

b. Flambaj prin încovoiere-răsucire

Flambajul prin încovoiere-răsucire se poate produce în cazul elementelor comprimate axial al căror centru de răsucire nu coincide cu centrul de greutate al secțiunii și care au o rigiditate mică la răsucire; faș parte din acestea profilele U, C, J, L, cornierele cu și fără oicouri, profilele dublu T cu tălpile neegale etc. Flambajul prin încovoiere-răsucire se produce, în general, la o forță axială mai mică decât în cazul flambajului prin încovoiere, aceasta fiind în funcție și de forma și dimensiunile părților care compun profilul.

Se poate evita flambajul prin încovoiere-răsucire dacă se iau unele măsuri constructive, care ar consta în legături care să împiedice răsucirea; astfel, un element comprimat format din două profile U nu va flamba prin încovoiere-răsucire dacă tălpile celor două profile vor fi legate prin plăcuțe, așezate la distanțe convenabile, legăturile împiedicând flambajul prin încovoiere-răsucire al fiecărui profil U în parte.

Forța critică de flambaj se poate determina cu relațiile stabilite la cap. XII, 3. Forța fiind aplicată centric, $e_x = e_y = 0$; admitînd că secțiunea profilului are o axă de simetrie $x-x$, distanța $a_y = 0$, relația (XII. 63) devine

$$(P_x - P)(P_y - P)(P_\omega - P)r_0^2 - P^2(P_y - P)a_x^2 = 0. \quad (\text{XVIII.12})$$

Din aceasta rezultă $P_{yor} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2}$ și ecuația de gradul 2

$$(P_x - P)(P_\omega - P)r_0^2 - a_x^2 P^2 = 0. \quad (\text{XVIII.13})$$

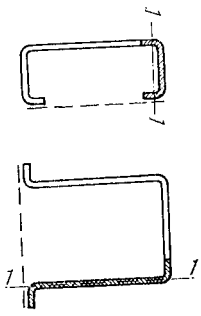
Cea mai mică soluție care satisface această ecuație reprezintă forța critică de flambaj prin încovoiere-răsucire.

Din relația (XII. 63), cap. XII 3. se poate obține forța critică de flambaj prin încovoiere-răsucire pentru orice formă de profil, bara fiind încărcată axial. Cînd profilul are două axe de simetrie sau simetrie punctuală, $a_x = a_y = 0$ și forțele critice de flambaj sînt:

$$P_{x\ cr} = \frac{\pi^2 EI_x}{l^2}; \quad P_{y\ cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \quad \text{și} \quad P_{\omega\ cr} = \left[\frac{\pi^2 EI_\omega}{l^2} + GI_T \right] \frac{1}{l^2}. \quad (\text{XVIII.14})$$

Ultima relație dă forța critică de flambaj prin încovoiere-răsucire, iar primele două, forțele critice de flambaj prin încovoiere; flambajul prin încovoiere-răsucire se produce numai dacă valoarea dată de ultima relație este mai mică decât cea mai mică dată de primele două relații.

Barele din profile deschise cu secțiunea în U, C sau J-L solidarizate pe latura deschisă cu plăcuțe la distanțe de cel mult 50 t_i ; se poate considera că se comportă ca profilele tubulare; raza de inerție I_i se determină în raport cu axa I—I (fig. XVIII.16).

Fig. XVIII. 16. Elemente pentru determinarea razei de inerție I_x .

Cunoscându-se forța critică de flambaj prin încovoiere-răsucire se poate determina rezistența critică de flambaj prin încovoiere-răsucire care este

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (\text{XVIII.15})$$

Valoarea rezistenței admisibile la flambaj prin încovoiere-răsucire se obține împărțind rezistența critică cu un coeficient de siguranță.

După descrierile AISI, coeficientul de siguranță unic este 1,92, astfel că rezistența admisibilă la flambaj prin încovoiere-răsucire este

$$\sigma_{cr} \leq 0,5 \sigma_e \quad \sigma_{cr} = 0,522 \sigma_{cr} \quad (\text{XVIII.16})$$

— în zona elastică, când $\sigma_{cr} > 0,5 \sigma_e$

$$\sigma_{cr} = 0,522 \sigma_e - \frac{\sigma_e^2}{535 \sigma_{cr}} \quad (\text{XVIII.17})$$

Valoarea rezistenței admisibile σ_{cr} nu poate fi mai mare ca cea rezultată din diagrama din fig. XVIII. 15, care este rezistența admisibilă la flambaj prin încovoiere.

c. Flambaj prin răsucire

Flambajul prin răsucire apare rar în practică și numai în cazul profilurilor scurte cu secțiune deschisă, cu secțiuni cu simetrie dublă sau punctuală. Forța critică de flambaj prin răsucire este dată de ultima din grupul de relații (XVIII.14). Mai departe se procedează ca la pct. 4, b de mai înainte.

O problemă deosebită o pun barele formate dintr-o cornieră, care au rigiditate mică la răsucire; cornierile au o singură axă de simetrie și centrul de răsucire are o poziție diferită de a centrului de greutate. Momentul de inerție sectorial I_{ω} ; centrul de răsucire fiind la intersecția axelor arpiilor, este egal cu zero. Datorită formei profilului se produce o răsucire locală, amindouă aripiile rotindu-se în jurul axei longitudinale care trece prin centrul de răsucire, în fiecare aripă și în același sens lînd naștere cîte o undă ca și la flambajul prin răsucire.

Valoarea forței critice de flambaj prin răsucire se obține din P_{cr} [v. relația (XVIII.14)], în care se face $I_{\omega} = 0$; deci $P_{cr} = GI_{\omega}^2$.

d. Modul de luare în considerare a flambajului local

După cum s-a arătat la pct. 3 flambajul local al pereților barelor nu se produce dacă raportul $b_0/t < 40$ în cazul pereților rigidizați și $b_0/t < 14$, în cazul pereților nerigidizați.

La barele care au toți pereții rigidizați, dacă raportul b_0/t al unuia sau mai multor pereți este mai mare decît 40 (raport limită) este necesar să se determine aria secțiunii care se ia în considerare la calcul (aria eficace). Aria eficace A_e este

$$A_e = A - t \sum (b_0 - b') \quad (\text{XVIII.18})$$

în care: A este aria secțiunii brute a profilului;

b_0 — lățimea plană a unui perete rigidizat egală cu $b - 2(t + r)$;

b' — lățimea eficace rezultată din relația (XVIII.4) sau (XVIII.5) după caz.

Efortul unitar într-o bară comprimată axial, în cazul cînd bara are toți pereții rigidizați, din care unii au rapoarte mai mari decît cele limită, se determină împărțind efortul axial N cu aria eficace A_e ; deci

$$\sigma = \frac{N}{A_e} \quad (\text{XVIII.19})$$

Cînd $\sigma = \sigma_e$, efortul N este

$$N = \varphi A \sigma_e = \varphi A_e \frac{A}{A_e} \sigma_e = n_1 A \sigma_e \quad (\text{XVIII.20})$$

în care s-a notat $n_1 = A_e/A$.

În cazul elementelor care au pereți rigidizați cu b_0/t sub valoarea limită și pereți nerigidizați cu raportul $b_0/t > 11$, efortul axial din bară este

$$N = \varphi A \sigma_{cr} = \varphi A_e \frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}} = \varphi A n_2 \sigma_e \quad (\text{XVIII.21})$$

în care $n_2 = \sigma_e/\sigma_{cr}$; ca urmare, efortul axial în bară se limitează la $N = \varphi n_2 A \sigma_e$.

Dacă o bară are unii pereți rigidizați cu raportul b_0/t mai mare decît raportul limită și pereți nerigidizați cu raportul $b_0/t > 11$, rezultă că

$$N = \varphi n_1 n_2 A \sigma_e \quad (\text{XVIII.22})$$

Aria secțiunii eficace A_e se determină luînd în considerare reducerea secțiunii produsă numai de pereții rigidizați, care au raportul b_0/t mai mare decît raportul limită.

În cazul barelor cu un coeficient de zveltetă λ mare este posibil ca σ_{cr} să fie mai mic decît σ_{cr} ; în acest caz se ia $n_2 = 1$.

Din cele arătate mai înainte rezultă că în cazul barelor comprimate axial se poate face verificarea cu secțiunea brută A și cu rezistența admisibilă la compresie; se ține seama de efectele flambajului local al pereților prin coeficienții n_1 și n_2 , care multiplică rezistența admisibilă σ_e .

XIX. CALCULUL ELEMENTELOR DIN PROFILE CU PEREȚI SUBȚIRI FORMATE LA REȚE

1. ELEMENTE SUPUSE LA ÎNTINDERE AXIALĂ

Întreaga secțiune a barei este eficace, neintervenind fenomenul de roolare a pereților. Relația de verificare este

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.1})$$

În care A este întreaga secțiune a barei sau secțiunea netă A_n , dacă sînt unele slăbiri prin găuri.

2. ELEMENTE SUPUSE LA COMPRESIUNE AXIALĂ CARE FLAMBEAZĂ PRIN ÎNCOVUIERE

Cînd toți pereții, rigidizați sau nu, au raportul b_0/l sub valoarea limită, relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi A} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.2})$$

în care A este aria secțiunii brute.

Dacă bara are numai pereți rigidizați și toți pereții sau o parte au raportul b_0/l mai mare decît raportul limită, relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi A} \leq n_1 \sigma_a \quad (\text{XIX.3})$$

Aceeași relație se aplică și dacă bara are și pereți nerigidizați cu raportul $b_0/l < 11$.

Barele care au pereți rigidizați cu raportul b_0/l mai mic decît raportul limită și unii pereți nerigidizați cu raportul $b_0/l > 11$ se verifică cu relația

$$\frac{N}{\varphi A} \leq n_2 \sigma_a \quad (\text{XIX.4})$$

Cînd bara are pereți rigidizați cu raportul b_0/l mai mare decît raportul limită și pereți nerigidizați cu raportul $b_0/l > 11$, relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi A} \leq n_1 \cdot n_2 \sigma_a \quad (\text{XIX.5})$$

3. ELEMENTE COMPRESIMATE AXIAL CARE FLAMBEAZĂ PRIN ÎNCOVUIERE-RĂSUOIRE SAU RĂSUOIRE

Verificarea elementelor supuse la compresiune axială în cazul flambajului prin încovoire-răsucire sau răsucire se face numai atunci cînd acest fenomen poate avea loc. Întrucît acest mod de cedare a barei este mai dezavantajos decît cedarea flambajului cu încovoire, în general, se iau măsuri constructive pentru a fi evitat, fie prin alegerea corespunzătoare a secțiunii barei, fie prin introducerea unor legături care să împiedice răsucirea.

Dacă totuși un astfel de flambaj este presupus că posibil, este recomandat să se facă verificarea la flambaj prin încovoire să se facă și o verificare cu relațiile următoare.

Cînd secțiunea barei este *complet eficace*

$$\frac{N}{A} \leq \sigma_{atr} \quad (\text{XIX.6})$$

în care A este aria secțiunii brute și σ_{atr} conform relațiilor (XVIII.16) și (XVIII.17).

Dacă aria secțiunii *nu este complet eficace*, verificarea se face cu relația

$$\frac{N}{A} \leq n \sigma_{atr} \quad (\text{XIX.7})$$

în care n este n_1, n_2 sau produsul lor n_1, n_2 , după caz.

4. ELEMENTE SUPUSE LA ÎNCOVUIERE

a. Încovoire pe o singură direcție

Cînd talpa este *complet eficace*, relația de verificare este

$$\sigma = \frac{M_{xII}}{I_x} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.8})$$

în care I_x este momentul de inerție al secțiunii brute în raport cu axa față de care se produce încovoirea și y distanța de la această axă la fibra cea mai depărtată a secțiunii.

Dacă talpa comprimată este rigidizată și raportul b_0/l este *mai mare decît raportul limită*, verificarea se face cu relația

$$\sigma = \frac{M_{xIIc}}{I_{xc}} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.9})$$

în care I_{xc} este momentul de inerție eficace determinat în raport cu axa deplasată a secțiunii eficace, axă față de care se produce încovoirea, și y_c .

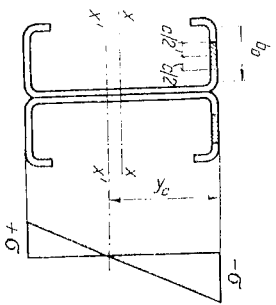


Fig. XIX. 1. Sectione redusă la bare încovoiate

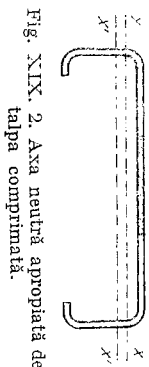


Fig. XIX. 2. Axă neutră apropiată de talpa comprimată.

este distanța de la axa neutră a secțiunii eficace la fibra cea mai depărtată a tălpii comprimate (fig. XIX. 1). În cazul unor secțiuni ca în fig. XIX. 2 este posibil ca axa neutră a secțiunii eficace să fie mai apropiată de talpa comprimată; în acest caz apare necesară și o verificare a tălpii întinse.

Area secțiunii eficace A_e se determină ținând seama de reducerea secțiunii tălpii comprimate rigidizate. Va rezulta o deplasare a axei neutre din $x - x$ în $x' - x'$ (v. fig. XIX. 1). Lățimea eficace b' rezultă din relația (XVIII. 4). Efortul unitar în talpa comprimată determinat cu relația (XIX. 9) va fi în general diferit de σ_a . Este necesar să se aleagă un profil cu alte caracteristici. În cazul profilului din fig. XIX. 2, chiar axa neutră deplasată $x' - x'$ poate fi mai aproape de talpa comprimată decât de cea întinsă. În această situație, efortul unitar σ din talpa comprimată va fi mai mic decât σ_a , dimensivonarea fiind determinată de valoarea efortului unitar σ_a din talpa întinsă. Pentru a stabili aria secțiunii eficace este necesar să se cunoască efortul unitar σ din talpa comprimată. Se apreciază un efort unitar σ_1 în talpa comprimată și se determină lățimea eficace b' în funcție de σ_1 , cu relația (XVIII. 5). Mai departe se determină aria secțiunii eficace A_{e1} , poziția axei neutre deplasate $x' - x'$ și momentul de inerție eficace I_{e1} . În talpa comprimată va rezulta un efort unitar σ_2 , care în general este diferit de σ_1 . Cu efortul unitar σ_2 sau unul apropiat, în funcție de diferența $\sigma_1 - \sigma_2$, se reface calculul. Sînt necesare deci unele încercări. Efortul unitar în talpa întinsă va trebui să fie egal sau ceva mai mic decât σ_a .

Cînd talpa comprimată este *nerigidizată* și $b_0/t > 11$, verificarea se face cu relația

$$\sigma = \frac{M_{x1}t}{I_x} \leq \sigma_{as} \quad (\text{XIX.10})$$

în care I_x este momentul de inerție al secțiunii brute în raport cu axa neutră a secțiunii față de care se produce încovoierea, iar σ_{as} este conform pct. XVIII, 3, d.

b. Încovoiere pe două direcții

Elementele încovoiate pe două direcții se verifică folosind relația

$$\sigma = \frac{M_{xy}}{I_x} + \frac{M_{yx}}{I_y} \leq 1,1 \sigma_a \quad (\text{XIX.11})$$

În care I_x și I_y sînt momentele de inerție brute sau eficace, în care caz se ține seama de lățimea eficace a tălpii comprimate respective, iar x și y sînt distanțele de la axa neutră (deplasată în cazul secțiunilor eficace) la fibrele cele mai comprimate; se face o verificare, cînd este cazul, și a eforturilor unitare din talpa întinsă. Momentele M_x și M_y se iau în secțiunile în care se face verificarea.

Nu se recomandă în cazul încovoierii pe două direcții să se folosească profile cu tălpi nerigidizate cu raportul $b_0/t > 11$.

c. Stabilitatea generală a grinzilor încovoiate

Verificarea stabilității generale a grinzilor încovoiate se face cu relația

$$\frac{M_{cH}}{\varphi_y I_x} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.12})$$

În care M_c este momentul maxim M_x care acționează în planul inimii grinzii multiplicat cu 0,85; în cazul barelor solicitate numai de momente $M_1 < M_2$ la capete, coeficientul de reducere este $0,6 + 0,4 M_1/M_2$, dar nu mai puțin ca $0,4 M_2$; momentele se iau cu semnele lor. Momentul de inerție I_x se ia pentru secțiunea brută sau eficace, după cum talpa comprimată este sau nu total eficace.

Coefficientul de flambaj φ_y se determină considerînd că talpa comprimată, nelegată de inimă, ar flamba transversal între două legături transversale situate la distanța l ; raza de inerție I_y se determină în raport cu axa $y - y'$ paralelă cu planul inimii, secțiunea fiind cea corespunzătoare tălpii (secțiunea hașurată în fig. XIX. 3).

Nu este necesară verificarea cu relația (XIX. 12) dacă distanța între legăturile transversale l este mai mare decât $50 l_y$.

Profilele Z sînt mult mai expuse pierderii stabilității decât profilele dublu T sau C; în cazul cînd distanța $l > 50 l_y$, verificarea se face de ase-

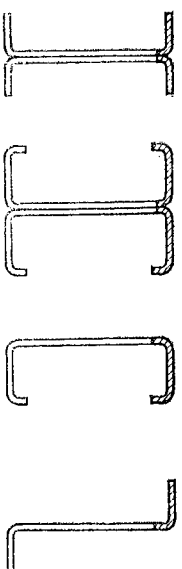


Fig. XIX. 3. Elemente pentru determinarea razei de inerție I_y .

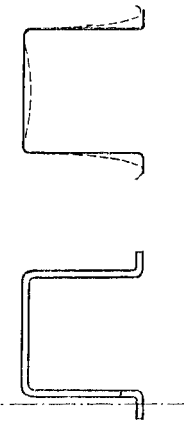


Fig. XIX. 4. Pierderea stabilității tălpiilor la profile deschise.

menea cu relația (XIX.12), în care σ_a se înlocuiește cu $0,5 \sigma_a$. Experimentele făcute cu astfel de profile arată că acest procedeu este acoperitor.

La profilele din fig. XIX. 4 pierderea stabilității se poate produce prin flambajul lateral al celor două tălpi comprimate; un calcul exact pentru determinarea forței care produce un astfel de flambaj este deșul de complicat. Un calcul aproximativ se poate face considerând că o talpă, formată din rebord și o parte din inimă, nu trebuie să flambeze lateral între două legături transversale; talpa se consideră legată elastic de inimă. Nu este necesară o verificare dacă cele două tălpi, pe parcursul barei, au cei puțin trei legături transversale.

5. VERIFICAREA INIMILOR GRINZIILOR ÎNCOVOLATE

a. Verificarea la volare

Eforturile unitare în inimile grinziilor supuse la încovoiere se determină cu relațiile

$$\sigma = \frac{M_{gh}}{2 I_x} \leq \sigma_a \quad \text{și} \quad \tau = \frac{T}{h t} \leq \tau_a \quad (\text{XIX.13})$$

în care h_t este înălțimea inimii. În cazul când profilul are mai multe inimi, grosimea t din relația (XIX.13), este formată din suma grosimii inimilor.

În secțiunile în care sînt în inimă numai eforturi unitare σ sau numai τ , verificarea se face cu relațiile

$$\sigma \leq \sigma_{av} \quad \text{și} \quad \tau \leq \tau_{av} \quad (\text{XIX.14})$$

în care

$$\sigma_{av} = 3\,600 \left(\frac{t}{h_t} \right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (\text{XIX.15})$$

și

$$\tau_{av} = 580 \left(\frac{t}{h_t} \right)^2 10^4 \text{ [daN/cm}^2\text{]}. \quad (\text{XIX.16})$$

În secțiunile în care sînt concomitent eforturi unitare σ și τ , verificarea se face cu relația

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{av}} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{av}} \right)^2} \leq 1, \quad (\text{XIX.17})$$

b. Verificarea inimilor sub acțiunea forțelor concentrate

În locurile unde pe o grindă cu pereți subțiri formată la rece se aplică forțe concentrate și pe reazeme, sub acțiunea reacțiilor lor se pot produce deformări ale inimilor și tălpiilor. La astfel de profile lipsind rigidizările transversale de pe inimă, forțele la grinziile din laminate la cald. În fig. XIX.5, a și b sînt arătate două tipuri de profile la care fenomenul de deformare este într-o măsură oarecare diferit.

În prescripțiile AISI se dau relații pentru determinarea valorilor maxime ale forțelor concentrate, care nu trebuie depășite pentru a se evita ondulara inimilor; aceste relații se bazează pe numeroase experiențe și se aplică profilelor care au raportul h/t mai mic decît 150; pentru rapoarte mai mari sînt necesare măsuri constructive care să transmită forțele concentrate direct la inima profilului.

În cazul grinziilor din profile de tipul a se dau următoarele relații pentru:

- forțe concentrate aplicate la capătul consolelor și pentru reacțiunile de la extremitățile grinziilor

$$P_{max} = \left(4,44 + 0,588 \sqrt{\frac{a}{t}} \right) t^2 \sigma_c; \quad (\text{XIX.18})$$

— forțe concentrate aplicate pe deschidere și pentru reacțiunile reazemelor interioare

$$P_{max} = \left(6,66 + 1,446 \sqrt{\frac{a}{t}} \right) t^2 \sigma_c. \quad (\text{XIX.19})$$

În cazul grinziilor din profile de tipul b , relațiile de verificare sînt:

- forțe concentrate pe capul consolelor și reacțiuni la marginile grinziilor

$$P_{max} = 7,03 \left(980 + 42 \frac{a}{t} - 0,22 \frac{a}{t} \cdot \frac{h_t}{t} - 0,11 \frac{h_t}{t} \right) t^2; \quad (\text{XIX.20})$$

dacă se folosesc oțeluri cu atîtă înimă de curgere decît 2 560 daN/cm² și profile cu raze de îndoire $r > t$, dar nu mai mare decît $4t$, valoarea P_{max} se multiplică cu

$$\left(1,15 - 0,15 \frac{r}{t} \right) \left(1,33 - 0,33 \sigma_c / 2\,560 \right) \frac{\sigma_c}{2\,560}; \quad (\text{XIX.21})$$

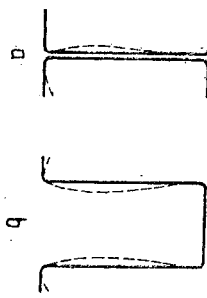


Fig. XIX. 5. Deformarea inimilor sub acțiunea forțelor concentrate.

— forțe concentrate aplicate pe deschidere și reacțiuni pe reazeme interioare

$$P_{max} = 7,03 \left(3050 + 23 \frac{a}{l} - 0,09 \frac{a}{l} \cdot \frac{h_1}{l} - 5 \frac{h_2}{l} \right) t^2; \quad (\text{XIX.22})$$

pentru ofelari cu limita de curgere diferită de 2560 daN/cm² și profile cu raza de îndoire $r > l$, dar nu mai mari decât $4t$, P_{max} se multiplică cu

$$\left(1,06 - 0,06 \frac{l}{r} \right) 1,33 - 0,33 \frac{\sigma_c}{2560} \frac{\sigma_c}{2560}. \quad (\text{XIX.23})$$

În aceste relații a este lungimea pe care reazemă profilul, care este limitată la h_1 .

Relațiile (XIX.19) și (XIX.22) se aplică numai atunci când distanța de la marginea elementului care transmite o forță concentrată apropiată de un reazem pînă la marginea acestui reazem, respectiv dacă distanța de la capătul consolei pînă la marginea reazemului, sînt mai mari decât $1,5 h_1$;

în caz contrar se aplică relațiile (XIX.18) și (XIX.21).
Cînd grinda are mai multe inimă, forțele P_{max} determinate cu relațiile anterioare sînt pentru o singură inimă; pentru inima compusă se însumează rezultatele.

c. Săgeata grinzilor încovoiate

Săgeata grinzilor cu inimă pînă încovoiate, ale cărunte din profile cu pereți subțiri formate la rece, se determină cu relațiile date la pct. XI, 7, a. Momentul de inerție al grinzii se determină pe baza lățimii eficace b' a tălpiilor comprimate, cînd acestea sînt rigidizate și raportul b_0/l depășește valoarea limită.

Valoarea raportului b'/l din relația (XVIII.4) este stabilită pentru calculele de rezistență și este dedusă din relația (XVIII.3) în care s-a înlocuit σ_{max} cu $1,60 \sigma_a$; săgeata unei grinzii se determină pe baza încălzirilor de exploatare, astfel că în relația (XVIII.4) trebuie înlocuit σ_a cu $\sigma_{a1,60}$ pentru a se obține raportul b'/l care corespunde calculului de deformare. Relația care dă raportul b'/l devine în acest caz

$$\frac{b'}{l} = \frac{2724}{\sqrt{\sigma}} \left(1 - \frac{534}{l} \sqrt{\sigma} \right). \quad (\text{XIX.24})$$

Tălpiile sînt complet eficace pînă la o valoare a raportului $b_0/l = 2020\sqrt{\sigma}$; pentru $\sigma = 1400$ daN/cm², $b_0/l = 50,50$. Efortul unitar σ care se introduce în relația (XIX.24) este efortul real determinat în talpa comprimată cu lățimea eficace b' dată de relația (XIX.24)

6. ELEMENTE SUPUSE LA COMPRESIUNE ȘI ÎNCOVOIERE

a. Comportarea elementelor cu pereți subțiri supuse la compresune și încovoiere

Elementele din profile cu pereți subțiri se comportă la compresune cu încovoiere în mod complex, după forma și dimensiunile secțiunii, după lungimea elementului, după planul în care acționează momentul și după mărimea gimnei elementului.

Elementul din profile închise (dreptunghiulare), avînd o rigiditate mare la răsucire, cedează în general prin încovoiere.

Elementele din profile deschise cu două axe de simetrie, cum sînt profilele dublu T simetrice, sînt de asemenea suficient de rezistente la răsucire; cînd momentul încovoietor acționează în planul $y - y$, cedarea poate avea loc prin încovoiere în planul $y - y$ sau prin flambaj prin încovoiere-răsucire. În cazul cînd forța longitudinală este aplicată excentric, flambajul are loc prin încovoiere-răsucire.

Mult mai complexă este comportarea elementelor din profile deschise cu o axă de simetrie, cum sînt profilele L, C și pălărie. La asemenea profile flambajul se produce prin încovoiere dacă momentul acționează în planul $x - x$ și excentricitatea forței este spre partea închisă a secțiunii și în afara centrului de răsucire (fig. XIX.6). În alte situații, ca de exemplu cînd punctul de aplicare al forței longitudinale este în afara centrului de răsucire, dar spre centrul de greutate, flambajul are loc prin încovoiere sau prin încovoiere-răsucire; nu este posibil să se aprecieze prin simplă examinare dacă cedarea are loc prin încovoiere sau încovoiere-răsucire. În asemenea situații apare necesitatea să se facă ambele verificări.

În cazul elementelor din profile dublu T cu o singură axă de simetrie (tălpi neegale), cedarea poate avea loc prin una din cele două forme de flambaj. Elementele din profile subțiri deschise cu o axă de simetrie solidarizate cu plăcuțe sau zăbrelețe, dacă distanțele între punctele de prindere sînt mai mici decât $50 l_y$, se comportă practic ca secțiunile închise.

b. Elemente care cedează prin încovoiere

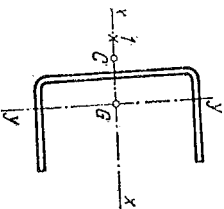
În cazul elementelor cu secțiune pînă, solicitate pe o singură direcție care flambează prin încovoiere, relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{cM}{W} \leq \sigma_a \quad (\text{XIX.25})$$

în care

$$\varphi_1 = \frac{\mu - 1,3}{\mu - 1}, \quad \text{unde } \mu = \sigma_{E1}/\sigma \text{ și corespunde plă-$$

Fig. XIX. 6. Profil deschis: I — punct de aplicare al forței.



nului de flambaj. Coeficientul c este cel dat de relația (XIII. 3) stabilită la metoda stărilor limită; în metoda rezistențelor admisibile σ_x trebuie înlocuit cu $\sigma_x/1,60$, unde 1,60 este coeficientul de siguranță, astfel că valoarea coeficientului c devine

$$c = \frac{1}{1 - 1,3 \frac{1,60 \sigma}{\sigma_x}} \quad (\text{XIX. 26})$$

În această relație σ_x este corespunzător planului în care acționează momentul.

Dacă încovoierea se produce pe două direcții relația de verificare este

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{c_x M_x}{W_x} + \frac{c_y M_y}{W_y} \leq 1,1 \sigma_a \quad (\text{XIX. 27})$$

În această relație φ_1 corespunde planului de flambaj, iar c_x și c_y corespund planurilor de încovoiere respectiv.

Momentele M_x , M_y și M_y sînt momentele maxime de pe bară, care în următoarele cazuri se reduc prin multiplicarea cu un coeficient a cărui valoare este:

0,85 cînd capetele barei sînt deplasabile lateral;

0,6 + 0,4 $\frac{M_1}{M_2} \geq 0,4$ cînd capetele barei sînt fixe, pe bară nu sînt alte încărcări și la capete acționează momentele $M_1 < M_2$; valorile momentelor se iau cu semnele lor.

În unele cazuri este necesară și verificarea cu relațiile

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq \sigma_a, \text{ respectiv } \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1 \sigma_a \quad (\text{XIX. 28})$$

În care momentele se iau cu valoarea din secțiunea care se verifică.

În cazurile în care $\frac{N}{\varphi_1 A} \leq 0,15 \sigma_a$, verificarea se poate face cu relațiile

$$\frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{M}{W} \leq \sigma_a, \text{ respectiv } \frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq 1,1 \sigma_a \quad (\text{XIX. 29})$$

Se ține seama, cînd este cazul, de posibilitatea *flambajului lateral al barei*, multiplicîndu-se termenul care conține momentul cu acționează în planul inimii din relațiile (XIX. 27), (XIX. 28) și (XIX. 29) cu $1/\varphi_y$. La barele în care suplețea tălpilor comprimăte rigidizate este mai mare decît suplețea limitată, la determinarea modului de rezistență se ia în considerare întîmna efectivă a tălpilor comprimăte respectiv. Nu este recomandabil să se folosească elemente cu profile care au talpa comprimată neregidizată cu suplețea mai mare decît 11; în cazuri excepționale, cînd s-ar folosi profile cu talpa comprimată cu suplețea mai mare decît 11, în relațiile de verificare se va folosi $n_2 \sigma_a$ în loc de σ_a .

Pentru verificarea barelor cu pereți subțiri compuse, solidarizate cu zăbrelețe sau plăcuțe se aplică cele expuse la pct. XIII, 3, b, respectiv XIII, 3, c, solicitările fiind determinate cu acțiunile normate și rezistența de calcul R fiind înlocuită cu σ_a ; se ține seama și de particularitățile profilelor cu pereți subțiri.

7. IMBINĂRI

Imbinările construcțiilor din profile cu pereți subțiri formate la rece se realizează cu:

— sudură prin presiune și sudură prin topire, aceasta din urmă fiind folosită în special la imbinările de montaj;

— nituri bătute la rece de tip obișnuit și nituri speciale, folosite îndeosebi la **montaj**;

— șuruburi obișnuite, șuruburi de înaltă rezistență și șuruburi speciale.

Sudurile prin presiune se execută în general prin puncte. Diametrul unui punct de sudură este aproximativ egal cu $5\sqrt{l}$. Un punct de sudură corect executat cedează prin forfecare. Imbinările cu puncte de sudură se pot face în pachete de cel mult trei table, grosimea fiecărei table fiind de cel mult 5 mm. Rezistența unui punct de sudură depinde de grosimea tablei exterioare cea mai subțire, de diametrul punctului de sudură și de calitatea execuției.

În diferite prescripții sînt date valori ale forței de forfecare, admise pentru un punct de sudură, valori determinate prin încercări.

Sudurile prin topire pot fi cap la cap sau de colț. Se pot suda prin topire table cu grosimi de 2 mm sau mai mult. În cazul sudurilor cap la cap rezistența admisibilă a sudurii se poate lua egală cu a materialului pieselor care se sudează, dacă limita de curgere a materialului depus prin sudare este cel puțin egală cu aceea a oțelului din care sînt confecționate piesele.

În cazul sudurilor de colț rezistența admisibilă la forfecare se poate lua $\tau_a = 0,65 \sigma_a$.

Imbinările cu nituri și șuruburi obișnuite se execută în principiu ca și la piesele din laminate la cald; niturile se bat la rece; la imbinările cu șuruburi este recomandabil să se introducă sub piniță și sub capul bulonului rîndele pentru a se asigura o mai bună repartizare a presiunilor, rezultată din stringere. În cazul niturilor se poate lua o rezistență admisibilă la forfecare $\tau_a = 0,5 \sigma_a$, iar pentru șuruburi obișnuite $\tau_a = 0,4 \sigma_a$, unde σ_a este rezistența admisibilă la întîndere a oțelului din care sînt confecționate niturile și buldoanele.

Imbinările cu șuruburi de înaltă rezistență se calculează la forfecarea șuruburilor; măsurile care se iau la imbinările laminatelor la cald pentru împiedicarea alunecării sînt greu de realizat la imbinările profilelor subțiri formate la rece. Rezultă totuși avantaje din folosirea acestor șuruburi, datorită rezistenței mari a șuruburilor și a efectului presiunii realizată prin pre-tensionarea țigii șuruburilor.

PROBLEME ALE PROIECTĂRII ȘI EXECUȚIEI ȘI REALIZAREA UNOR CONSTRUCȚII METALICE SIGURE ȘI ECONOMICE

1. INTRODUCERE

Proiectarea construcțiilor, în sensul cel mai larg, se bazează pe arta și tehnica de a concepe și a stabili elementele necesare realizării unei construcții, astfel încît să corespundă scopului pentru care se va executa. Este un proces de gândire și elaborare complex, care cere cunoștințe numeroase și variate și multă experiență, pe care proiectantul trebuie să le folosească și să le aplice cu suficientă pricepere.

Execuția construcțiilor constă într-un sir de operații care, în final, duc la materializarea proiectului, realizându-se obiectul proiectat. Între proiectare și execuție este o strînsă interdependență. Proiectarea trebuie să țină seama de tehnologiile de execuție necesare și posibile, iar execuția trebuie să asigure realizarea proiectului, așa cum a fost conceput. Încercări de construcție din diferite materiale au fost executate din timpuri foarte îndepărtate, fără ca în acele vremuri omul să cunoască și să folosească metode de calcul. Judecînd după rezultatele ce se obțineau, se poate spune că totuși constructorii din acele vremuri intuiau unele din legile mecanicii și aveau o experiență dezvoltată: arta de a construi se învăța și se transmitea direct de la o generație la alta. Multe din construcții nu au putut rezista acțiunilor, ale căror efecte omul nu le putea înțui, dar altele au durat multe secole. Mai mult, unele construcții din vremuri îndepărtate sînt impresionante prin forma, mărima și arhitectura lor.

Cu timpul arta și tehnica de a construi au progresat, în măsura în care legile mecanicii au fost înțelese, au început să fie formulate unele reguli ale mecanicii construcțiilor și, într-un mod mai mult empiric, aplicate la dimensionarea unor elemente ale construcțiilor. Coeficienții mari de siguranță care rezulta din modul de realizare al construcțiilor, acopereau diferențele, uneori foarte mari, dintre fenomenele reale și cele înțelese de constructor. Abia spre sfîrșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea, datorită progreselor care s-au realizat în domeniul mecanicii construcțiilor și dezvoltării teoriilor matematice, s-au putut pune bazele unor metode de calcul suficient de exacte și ca urmare constructorii, pe lângă arta, tehnica și experiența de a construi, începe să abățească la întemînă un element nou — calculul construcțiilor — element care a contribuit în largă măsură și repede la dezvoltarea construcțiilor.

Construcțiile metalice au început să ia o oarecare dezvoltare abia spre sfîrșitul secolului al XVIII-lea, după descoperirea căilor de producere a oțelului pudlat pe cale industrială și mai ales în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, cînd s-au descoperit procedeele de a se fabrica oțel din fontă, ieftin și în cantități mari.

Voluntul constructorilor, în toate sectoarele economiei și în sectorul social, crește continuu; a apărut necesitatea imperioasă de a se realiza construcții cît mai ieftine. Ca urmare, astăzi, la baza realizării construcțiilor stă principul: construcție corespunzătoare scopului, sigură și ieftină.

2. CONCEPTUL INGINERESC DESPRE CONSTRUCȚIE SIGURĂ

Construcțiile de orice fel sînt realizate în vederea folosirii lor în anumite scopuri, în general, distincte pentru fiecare categorie de construcții: clădiri de locuit, construcții sociale, clădiri și construcții industriale și altele.

Construcțiile, pe toată durata lor, trebuie să satisfacă o serie de condiții rezultate din necesitățile de siguranță și de exploatare, adică trebuie să-și păstreze calitățile cerute de scopul pentru care au fost făcute. Aceste condiții se referă la:

- rezistența construcției la acțiunile cele mai defavorabile care se prevăd a interveni pe întreaga durată a construcției; prin aceasta se înțelege că nu vor apărea defecțiuni care să conducă la imposibilitatea de folosire normală a construcției în ansamblul ei sau în parte, datorită valorii acțiunilor, repetării lor, focului, coroziunii și altele;
 - durabilitate, care se exprimă prin durata de timp în care construcția va putea fi folosită în condițiile fixate și cu o întreținere normală;
 - satisfacerea cerințelor impuse de exploatare sau de activitatea care se desfășoară în construcția respectivă;
 - economie, prin care se urmărește să se reducă costul inițial de investiție, inclusiv cheltuielile de întreținere și exploatare;
 - alte aspecte cerute de specificul construcției, cum ar fi măsurii de siguranță mărită, confort sport, posibilitatea de adaptare la unele modități-cîri ale proceselor tehnologice și altele.
- Asigurarea acestor calități constituie o problemă complexă și este rezultatul unui ansamblu de operații și măsuri privind proiectarea, alegerea materialelor, execuția, montajul, controlul execuției. Proiectantul trebuie mai întîi să gîndească cum se va deforma pînă la rupele structura pe care o proiectează, înainte de a trece la verificarea prin calcul a pozițiilor, formelor și dimensiunilor adaptate.

Unele din aceste condiții se asigură prin calculul construcției și al elementelor ce o compun. Metodele de calcul iau în considerare comportarea și rezistența construcțiilor supuse unor acțiuni cunoscute sau previzibile cu un grad de siguranță acceptat în funcție de natura și importanța construc-

ției. Valorile acțiunilor luate în considerare la calcule sînt determinate pe baza unor anumite reguli, care țin seama de modul cum această variație în timp, admîndu-se că depășirea valorilor celor mai defavorabile poate avea loc cu o probabilitate minimă; pentru efectuarea calculelor acțiunile se combină, formîndu-se diferite grupări, care sînt conduse la cele mai defavorabile solicitări. Caracteristicile materialelor pe care se bazează calculele se consideră că ar putea cobori sub valorile de calcul admise cu o probabilitate foarte redusă; se iau în considerare și unele abateri ale dimensiunilor elementelor metalice, însă în limita toleranțelor admise la livrarea produselor.

Metoda de verificare a siguranței construcțiilor prin calculul la stăruire limită este bazată pe concepția semiprobabilistă de siguranță și este considerată astăzi că interpretează suficient de bine condițiile de comportare reală a construcțiilor și este introdusă în normele de proiectare din diferite țări.

În mod practic, gradul de siguranță al unei construcții, determinat prin calcul, constă în verificarea comportării construcției și a elementelor acesteia la acțiunile cele mai defavorabile presupuse că le au de suportat, forma, dimensiunile și materialul din care acestea sînt executate fiind considerate cunoscute. Calculul nu poate însă să prindă unele elemente care pot duce la micșorarea siguranței stabilită prin calcul și chiar la anularea acesteia. Astfel, comportarea unei construcții metalice la rupere fragilă nu poate fi exprimată prin calcule, iar unele solicitări, cum sînt cele rezultate din sudare, nu pot fi determinate cu siguranța necesară. Un oțel de o marcă oarecare are caracteristica mecanică bine determinată, care practic nu se diferențiază după clasa de calitate; comportarea oțelului, în unele situații, diferă însă sensibil după clasa de calitate, ceea ce nu este pus în evidență prin calcule. Abaterile de execuție, peste toleranțele admise, pot reduce siguranța determinată prin calcul și chiar duce la accidente. Coeficientul de siguranță, oricît ar fi de mare, nu poate, în orice situație, să acopere omisiunile de proiectare, rezolvările incorecte și greselile de execuție; nu poate deci constitui o garanție că o construcție proiectată va fi sigură decît cu respectarea și a altor măsuri.

Siguranța construcțiilor constituie deci o problemă complexă; calculul constituie un element important pentru realizarea unor construcții sigure, necesar, dar nu suficient.

Durata de timp în care o construcție urmează să-și păstreze calitățile pentru a putea fi folosită normal diferă după categoriilor de construcții, după destinație, după scopul urmărit și altele; durata poate să nu fie aceeași la toate elementele aceleiași construcții. În general, pentru elementele principale ale construcției durata este fixată cu ocazia proiectării.

Rezistența construcției și a elementelor acesteia, determinată prin calcule, este de importanță majoră pentru asigurarea durabilității; sînt însă altele cauze care pot provoca reducerea durabilității, care nu sînt prinse în calculele ce se fac pentru determinarea siguranței. În cazul construcțiilor

metalice o influență defavorabilă o poate avea mediul înconjurător; construcția se poate afla într-un mediu normal, agresiv sau foarte agresiv; elementele construcției metalice, dacă nu sînt protejate în mod corespunzător, pot fi distruse în mod lent sau rapid, după intensitatea agresivă a mediului. De asemenea, unele avarii sau chiar distrugerii, limitate sau extinse, pot avea loc în cazul unor explozii. În cazul izbiri unor elemente ale construcției tului temperaturilor ridicate etc.

În cele mai multe din aceste situații consecințele nu pot fi prinse prin calculele de rezistență obișnuite, ci se iau măsuri de protecție sau măsuri de prevenire.

Ca urmare, pentru a realiza construcții sigure și durabile, care să corespundă scopului urmărit, în afara verificării comportării construcției prin calcule este necesar, în aceeași măsură, să se asigure calitatea construcției prin măsuri și rezolvări care aparțin proiectării propriu-zise și montajului.

3. ROLUL PROIECTĂRII

În domeniul construcțiilor nu pot fi folosite încă metode de proiectare care să permită determinarea directă a formei, dimensiunilor și a materialelor cele mai indicate. În mod obișnuit, forma, dimensiunile și materialele din care se execută elementele construcției se aleg anticipat pe baza a diferite criterii și apoi se verifică prin calcule modul cum se comportă construcția și elementele acesteia; se face, dacă este cazul, unele corectări și eventual mai multe variante, alegîndu-se soluția optimă.

Proiectarea are de rezolvat probleme numeroase și variate, care intervin în legătură cu siguranța și calitatea construcției, cu durabilitatea și economia, cu destinația construcției și altele.

Concepția și soluția de ansamblu constituie primul act al elaborării proiectului și au la bază datele care definesc obiectul ce trebuie proiectat. În această fază de proiectare se stabilesc toate legăturile elementelor structurii de rezistență și se precizează schema constructivă și schema statică; între schema statică și schema constructivă trebuie să fie o bună concordanță. Inginerul proiectant, pentru a putea să stabilească aceste scheme în cele mai favorabile forme, este necesar să posede suficiente cunoștințe în a putea întui modul cum se va comporta construcția sub efectul diferitelor acțiuni la care va fi supusă. Proiectarea, în toate fazele, trebuie să se desfășoare după un plan bine precizat și în mod organizat. Pe baza schemei statice se stabilesc solicitările din diferite elemente ale structurii de rezistență; este indicat să se facă o analiză a rezultatelor obținute spre a se vedea dacă soluția aleasă și schema statică sînt satisfăcătoare într-o măsură dorită. Se fac eventual corectări și numai după ce s-a ajuns la o soluție apreciată avantajoasă se trece mai departe la rezolvarea elementelor componente ale construcției, la detaliere, verificări prin calcule.

Cunoscând solicitările în structură, înainte de a adopta formele elementelor și a preciza detaliile, proiectantul își alege marca și clasa de calitate a oțelului, ținând seama de valorile solicitărilor, natura lor, condițiile în care se va găsi construcția etc. În unele situații apare avantajos să se folosească un oțel care are caracteristici mecanice superioare, deși aceste oțeluri sînt mai scumpe decît oțelurile carbon.

Proiectantul, în decursul soluțiilor și detaliilor, analizează și posibilitățile de a elimina sau reduce influența unor factori defavorabili, care dezavantajează comportarea și pot compromite chiar siguranța construcției; aceasta se face prin adoptarea unor soluții de detaliu privind alecătura și îmbinarea elementelor construcției, prinderea lor, legăturile cu diferite alte piese și altele, astfel încît să fie cît mai mult reduse concentrațiile de eforturi și eforturile remanente din sudare și pe cît posibil stările de eforturi plane și spațiale, care între altele, pot duce la ruperi fragile. Sînt situații, cînd adoptîndu-se soluții care nu țin seama de efectele pe care le introduce sudarea, piesele se rup imediat după sudare sau după un timp oarecare.

Toate aceste aspecte se pot rezolva de inginerul proiectant care are suficiente cunoștințe necesare proiectării: cunoștințe despre materiale, despre sudare și consecințele ei, despre alecătura, executarea și montarea construcțiilor; teoriile și regulile de calcul îi permit să înțeleagă modul cum se poartă construcția la diferite acțiuni; inginerul proiectant trebuie să posede în aceeași măsură cunoștințele necesare alecăturii construcțiilor și pe cele necesare calculului lor.

Realizarea unei construcții sigure și durabile, care să corespundă scopului urmărit este în primul rînd rezultatul proiectării, în care calculul intervine ca un element important; execuția și montajul are rolul de a materializa ceea ce este conceput prin proiectare.

4. ROLUL EXECUȚIEI ȘI MONTAJULUI

În operațiile de edificare a construcțiilor, execuția și montajul în mod obișnuit contribuie în măsură însemnată la realizarea unei construcții sigure și durabile. În cele mai multe cazuri elementele construcției metalice se confecționează în uzine sau ateliere specializate în astfel de lucrări, pe baza desenelor de execuție întocmite de proiectant. Înainte de a se începe execuția în ateliere, servițiile tehnice și de pregătirea producției examinează cuția în ateliere, listele de materiale și condițiile tehnice de execuție desenate de execuție, listele de materiale și condițiile tehnice de execuție prevăzute în proiect; în cazul cînd se constată unele lipsuri, erori sau condiții de execuție pe care atelierul nu le poate satisface cu dotarea pe care o are, sesizează proiectantul, face propuneri și introduce eventuale modificări cu acordul proiectantului. Pentru unele operații, dacă este necesar, se face o vizită în atelier; se examinează dacă diferitele operații, îndeosebi cele de sudare, se încadrează în tehnologia pe care le aplică atelierul în mod obișnuit; de cele mai multe ori se impune să se stabilească o tehnologie specifică lucrării, cu

toate indicațiile și elementele necesare echipei de sudori pentru a se obține o lucrare care să aibă calitățile cerute prin proiect. Uzina sau atelierul trebuie să introducă în lucrare laminata și alte materiale care au calitățile și dimensiunile cerute prin proiect; în cazul cînd pentru unele materiale nu are certificate de calitate sau există unele dubii, uzina este obligată să facă verificările necesare: analize chimice, încercări mecanice și altele cerute prin proiect; orice abatere de la prevederile referitoare la calitatea materialelor nu poate fi acceptată decît cu acordul proiectantului.

O altă problemă creta execuția trebuie să-i dea suficientă atenție este aceea privind respectarea formei și dimensiunilor elementelor pe care le confecționează, ținînd măsuri ca abaterile rezultate în final să rămîna în limitele toleranțelor cerute prin proiect; nerespectarea formei și dimensiunilor sau existența unor abateri peste toleranțele prescrise, creează dificultăți la montaj, împiedică executarea unui montaj corect, ceea ce poate atrage consecințe defavorabile asupra comportării construcției sau elementelor ce o compun; unele abateri la calitate, formă sau dimensiuni pot face elementele de construcție respective neutilizabile.

În general, o uzină sau un atelier care posedă o bună organizare și personal cu calificare corespunzătoare poate executa și furniza construcții metalice cu calitatea cerută prin proiect.

Pentru obținerea unor lucrări de calitate și corespunzătoare proiectului un rol deosebit îl are controlul de calitate. Controlul începe de la intrarea materialului în depozit și continuă pe tot fluxul de operații pînă la expdier. În general se face pe faze de operații: se verifică materialele înainte de a începe defbitarea lor, trasarea, asamblarea, îmbinarea părților componente etc.; defectele sau abaterile constatate într-o fază oarecare trebuie remediate înainte ca piesa să treacă la operațiile din faza următoare.

Montajul, realizat, printr-o serie de operații care se desfășoară la locul unde se ridică construcția metalică, dă forma finală structurii construcției; în unele cazuri se fac la șantier unele completări, se confecționează unele piese, se fac asamblări la sol și altele. Structura metalică montată trebuie să fie conformă proiectului, ca formă, dimensiuni, legături și altele. Operațiile de montaj se detaliază pe baza elementelor ce rezultă din examinarea proiectului de organizația de construcții-montaj. Elementele care compun structura construcției se verifică și se remediază, dacă este cazul, înainte de a fi montate. Controlul și verificarea elementelor construcției trebuie să înceapă la primirea acestora la șantier și să fie continuat pe faze de montaj, spre a se evita unele intervenții cînd lucrarea este încheiată definitiv, remedierile în această situație fiind, în general, mai greu de făcut și cu cheltuieli mult mai mari.

Lucrările care se execută la șantier, cum sînt cele pentru completarea unor elemente, operațiile de asamblare prin diferite mijloace de îmbinare sînt supuse unor tehnologii și forme de control, care în principiu sînt ca și cele de atelier, cu unele deosebiri impuse de condițiile de lucru la șantier.

În general, o întreprindere de construcții-montaaj, care este bine organizată și dotată cu personal și utilaje corespunzătoare, este în măsură să asigure construcțiilor metalice, pe care le montează, calitatea și gradul de siguranță prevăzute prin proiect.

Rezultate bune se pot obține când proiectarea, execuția și montajul se desfășoară în mod coordonat, contribuind fiecare în măsura necesară la buna realizare a lucrărilor; rolul coordonator revine proiectantului.

Este necesar să fie înțeles că siguranța unei construcții, stabilită prin diferitele măsuri luate de proiectare și prin calcul, oricare ar fi valoarea coeficientului de siguranță admis, nu acoperă orice omisiune, greșală sau abatere de execuție și montaj.

5. EXPLOATAREA

Darea în folosință a unei construcții se face după ce o comisie de recepție a constatat, conform normelor prevăzute pentru aceasta, că întreaga construcție a fost executată cu respectarea tuturor prevederilor proiectului; în cazul când se constată abateri, remediarea acestora este obligatorie.

Folosirea construcției se face respectându-se destinația, modul și condițiile de utilizare stabilite prin tema de proiectare înainte de întocmirea proiectului. În multe cazuri apare necesitatea ca, după un timp oarecare, să se schimbe destinația, să se completeze sau să se modifice unele procese tehnologice, care pot conduce la alte solicitări ale construcției sau elementelor acesteia. Asemenea modificări se pot accepta, însă este obligatoriu să se facă o examinare a situației și a se stabili că siguranța construcției nu este periclitată; în caz contrar se fac modificările și consolidările necesare.

În timpul exploatării, o construcție este supusă uzurii, datorită acțiunii mediului, solicitărilor provenite din acțiuni normale, sau accidentale, care poate avea un efect defavorabil asupra duratei construcției în ansamblu sau asupra unor părți componente; unele fenomene de uzură pot influența treptat și gradul de siguranță. Se evită sau se micșorează asemenea efecte prin întreținere; prin întreținere se poate constata apariția unor neajuturi de gradări și se pot lua măsuri pentru înlăturarea cauzelor ce le produc.

Întreținerea este necesară să se facă în mod organizat; în primul rând, întreținerea este o operație de control, care trebuie făcut periodic, după un plan bine precizat; defectele constatate trebuie remediate în cel mai scurt timp. În unele situații, remediarea unor defecte ridica probleme mai dificile, produse de ne cunoașterea cauzelor care le-au produs; reparații sau consolidări efectuate fără a se cunoaște cum și de unde au provenit defectele pot fi fără eficacitate sau chiar dăunătoare.

În unele cazuri, în timpul exploatării sînt amplificate și puse în evidență unele defecte de material, de execuție sau montaj, care nu au putut fi depistate la controalele făcute și care, dacă nu sînt observate și remediate la timp, pot da naștere la accidente, uneori cu urmări grave.

Exploatarea făcută corect poate contribui la menținerea calităților construcției și la mărirea duratei acesteia.

BIBLIOGRAFIE

- Baldin, A. V., Goldendblat, I. I., Cocciano, M. V., Pildis, I. M. și Tat, E. K. *Calculul elementelor de construcții pe baza stărilor limită* (trad. din l. rusă), București, Editura M.C.I.M.C., 1953.
- Baldin, A. V. *Isledovanie po metaliceskim konstrukcijam*, Moscova, Gosstroizdat, 1961.
- Bejers, A. și Voinea, R. *Rezistența materialelor*, Vol. II, București, Editura tehnică, 1958.
- Bleich, H. *Buckling Strength of Metal Structures*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1952.
- Bürgermeister, G. și Steup, H. *Stabilitätstheorie I*. Berlin, Akademie-Verlag, 1959.
- Buzdugan, G. *Rezistența materialelor*. Vol. I și II, București, Editura tehnică, 1956, 1957.
- Buzdugan, G. *Calculul de rezistență la solicitări variabile*. București, Editura tehnică, 1955.
- Caracostea, A. ș. a. *Manual pentru calculul construcțiilor*. București Editura tehnică, 1959.
- Duthell J. *Verification des pièces comprimées. Principes fondamentaux*. In: *Construc-tion métallique*, nr. 2, 1966.
- Filipescu, E. m. G. h. *Statia construcțiilor și rezistența materialelor*. București, Impri-meria Națională, 1934.
- Gheorghiu, Al. *Statia construcțiilor*. Vol. I, București, Editura tehnică, 1960.
- Gheorghiu, Al. *Statia construcțiilor*. Vol. II, București, Editura tehnică, 1965.
- Gregor Alfred. *Der praktische Stahlbau, Trügerbau*. Berlin, VEB Verlag Technik, 1958.
- Guleaev, P. A. *Metallurgie fizică*. (Trad. din l. rusă), București, Editura tehnică, 1954.
- Ionescu, I. *Curs de construcții metalice*, prelat la Politehnica din București, 1933.
- Ionescu, I. *Vocabular pentru tehnica sudurii metalor*. București Soc. Politehnice nr. 11, 1932.
- Kollbrunner, F. Curt și Meister, M. *Kriechen, Biegedrillnicken, Kippen*. Berlin, Springer Verlag, 1961.
- Linder, Helmut. *Elemente de fizică atomică și nucleară* (trad. din l. germană), Bucu-resti, Editura tehnică, 1960.
- Masi, Fausto. *La pratica delle costruzioni metalliche*. Milano, Ed. Urico Hoeppli, 1956.
- Masonnet, Ch. și Save, M. *Calcul plastique des constructions*. Ed. 2, vol. I. Bruxelles, Centre Bargo-Louxbourgeois d'information de l'aeter, 1967.
- Mateescu, D., Rosu, D. și Caraba I. *Construcții metalice. Exemple de calcul*. București, Editura didactică și pedagogică, 1972.
- Mazilu, P. *Statia construcțiilor*. Vol. I, București, Editura tehnică, 1955.
- Mazilu, P. *Statia construcțiilor*. Vol. II, București, Editura tehnică, 1959.
- Mejhardt, A. H. *Jmbirari sudale supuse la solicitari statice și variabile* (trad. din l. ger-mană), București, IDT, 1951.
- Melnic, I. V. *Sarva i sporra tisonia strotielnih konstrukcii*. Moscova, Gosstroizdat, 1952.
- Nadașan, St. ș. a. *Obseala metalelor*. București, Editura tehnică, 1962.
- Neuman, A. *Schweisstechnisches Handbuch für Konstrukteure*. Vol. I și II, Berlin, VEB Verlag Technik, 1960.
- Neuman, A. *Probleme der Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen*. Berlin, VEB Verlag Technik, 1960.
- Nicolaev, A. G. *Construcții sudate* (trad. din l. rusă), București, Editura tehnică, 1955.

30. Niculescu, T. D., Preda, I. și Pătrînice, N. *Construcții metalice din alumiiniu*. București, Editura tehnică, 1966.
31. Otescu, I. ș. a. *Indreptar pentru construcții metalice*. București, Editura tehnică, 1964.
32. Ponomarev, D. S. ș. a. *Calculul de rezistență în construcția de mașini* (trad. din r. rusă). Vol. I și II, București, Editura tehnică, 1960 și 1963.
33. Popescu, M. și Otescu, I. *Profile metalice cu pereți subțiri în construcții*. București, Editura tehnică, 1963.
34. Popescu, Victor. *Construcții metalice. Elemente generale, execuția și montajul construcțiilor metalice*. Ed. 2. București, Editura tehnică, 1959.
35. Popescu, Victor. *Construcții metalice industriale*. Ed. 2. București, Editura tehnică, 1961.
36. Rjantzing, A. R. *Bases théoriques et perspectives du développement des méthodes de calcul des constructions*. Moscova, 1958.
37. Schumann, H. *Metallurgie fizică* (trad. din l. germană). București, Editura tehnică, 1962.
38. Sfințescu, D. *Etude expérimentale du flambement*. În: *Construction métallique*, no. 1, 1965.
39. Soeolovschi, V. V. *Teoria plasticității* (trad. din l. rusă), București, Editura tehnică, 1953.
40. Stablini, L. *Tecnica delle costruzioni*. Milano, Libreria Editrice Politecnica, Cezare Tamburini, 1956.
41. Stan, D. *Rezistența materialelor*. București, Editura didactică și pedagogică, 1967.
42. Steopoe, A. I. *Materiale de construcții*. București, Editura tehnică, 1964.
43. Streletski, S. N. ș. a. *Metalicele construcții*. Ed. 3. Moscova, Gosstroizdat, 1961.
44. Streletski, S. N. *Rabota stali v stroitelni konstrukciach*. Moscova, Gosstroizdat, 1956.
45. Streletski, S. N. *Procedés actuels de calcul par la méthode des états limites utilisés en I.R.S.S. et notes principales de leur développement*. Moscova, 1958.
46. Stüssi, F. R. *Grundlagen des Stahlbaus*. Berlin, Springer Verlag, 1953.
47. Stüssi, F. R. *Tragwerke aus Aluminium*. Berlin, Springer Verlag, 1953.
48. Stüssi, F. R. *Statique appliquée et résistance des matériaux*. Vol. I și II, Paris, Dunod, 1964.
49. Teodorescu, C. C., Mocanu, R. D. și Buga, M. *Îmbindări sudate*. Ed. 2. București, Editura tehnică, 1972.
50. Timoshenko, S. *Résistance des matériaux*. 1-ème partie, Paris, Librairie Polytechnique, Ch. Béranger, 1947.
51. Timoshenko, S. *Résistance des matériaux*. II-ème partie, Paris, Librairie Polytechnique, Ch. Béranger, 1949.
52. Timoshenko, S. *Theorie de l'élasticité*. Paris, Librairie Polytechnique, Ch. Béranger, 1947.
53. Timoshenko, S. și Gere, J. *Theoria stabilității elastice*. Ed. 2, (trad. din l. engleză), București, Editura tehnică, 1967.
54. Valen, I. și Vlad, I. *Electrozi și fuzurii de sudare*. București, Editura tehnică, 1971.
55. Vilkovici, V., Bălan, St. și Voinea, R. *Mecanica teoretică*. București, Editura tehnică, 1959.
56. *** *Règles de calcul des constructions en acier*. Paris, ed. par la Société de diffusion des techniques du bâtiment et de travaux publics, 1966.
57. *** *Le calcul des charpentes en fides minces formées à froid*. Bruxelles, Ed. du Centre Belgo-Luxembourgeois d'Information de l'Acier, 1966.
58. *** *Specification for the Design of Cold Formed Structural Member*. New York, American Iron and Steel Institute, 1968.
59. *** *Principes généraux pour vérifier la sécurité des ouvrages*. Paris, ISO 2394—1972 (F).
60. *** *Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis*. Band 1, Köln, Stahlbau-Verlag, 1961.
61. *** *Stahlbau, ein Handbuch für Studium und Praxis*. Band 2, Köln, Stahlbau-Verlag, 1964.