

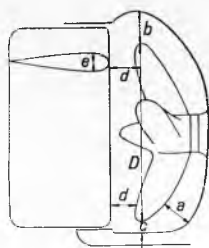
i pozicije tih sila u odnosu na njih. Osim toga ona zavisi od ekvivalentne mase i krutosti trupa, od veličine prigušenja i od omjera uzbudne i vlastite frekvencije za dotični oblik titranja.

Iz svega proizlazi da je proračun prisilnih vibracija odviše opsežan i da se može racionalno provesti jedino upotrebom elektronskih računskih strojeva. Kako je poznavanje čitavog niza parametara koji ulaze u proračun prisilnih vibracija vrlo nesigurno, slično kao i parametara za određivanje viših vlastitih frekvencija trupa, ne može se za sada očekivati od ovog proračuna neka osobita tačnost.

Lokalne vibracije. Ozbiljnije lokalne vibracije najčešće su rezonantnog karaktera. Do lokalnih rezonancija može doći čak i onda kada osnovni dio brodskog trupa vibrira s neznatnim amplitudama, ako neke od lokalnih konstrukcija (jarboli, mostovi, palubne plohe, dijelovi oplata i sl.) imaju vlastite frekvencije praktično jednake frekvenciji titranja trupa na pripadnom mjestu. Uzbudnu energiju dobivaju lokalne konstrukcije najčešće od propelera i od neuravnoteženih glavnih ili pomoćnih strojeva.

Općenito se promjene vlastite frekvencije lokalnih konstrukcija i objekata, radi izbjegavanja rezonancije, postižu ukrućivanjem. Izuzetno postoji mogućnost i primjene specijalnih prigušivača, naročito za prigušivanje lokalnih vibracija ploča.

Ako su uzbudne sile vrlo jake, mogu se i izvan rezonancije ostvariti lokalne vibracije većih amplituda, i to u blizini izvora vibracijske energije. Najčešće se to javlja u neposrednoj blizini temelja strojeva i, posebno, na krmenom dijelu brodova većih snaga. Lokalne vibracije krme su redovito posljedica uzбудnih sila propelera, te je nerijetko potrebno mijenjati broj krila propelera i povećati razmake između krila i krmenog dijela trupa, kako bi se intenzitet tih sila smanjio (sl. 4).



Sl. 4. Minimalni razmaci između vijka i brodskog trupa potrebni da se izbjegnú lokalne vibracije krme uslijed rada vijka

Pozicija:	Razmaci:
a	0,15 D
b	0,10 D
c	0,03 D
d	0,08 D ili ϵ (što je veće)

lako se može dogoditi da se višečvorne vibracije trupa broda krivo protumače kao lokalne vibracije nekog brodskog objekta. U tom slučaju lokalno ukrućivanje ne donosi nikakvo poboljšanje, štaviše, može se njime vibracijsko stanje čak i pogoršati. Zbog toga treba problemu uklanjanja lokalnih vibracija, naročito većih objekata, pristupiti vrlo oprezno i ispitati detaljno vibracijsko stanje čitavog trupa.

Sprečavanje vibracija. Još ne postoji jedinstven kriterij za gornju granicu dopuštenih vibracija broda. Ipak, za orijentaciju se može uzeti da akceleracija vibracija ne smije preći 1500 mm/sek² na teretnim brodovima i 1000 mm/sek² na putničkim brodovima.

Utjecaj na čovjeka diktira mnogo oštrije kriterije dopuštenih vibracija, koji također nisu jedinstveni. Navest ćemo samo jedan, izrađen od Razvojnog brodograđevnog instituta u Francuskoj (Institut de recherches de la construction navale) koji je vjerojatno najpotpuniji i osniva se na većem broju eksperimenata (tabl. 1).

Da bi vibracije ostale ispod propisanih granica, treba ili smanjiti uzroke vibracija ili pomaknuti frekvenciju uzbudnih sila tako da ne dođe do rezonancije s vlastitim vibracijama brodskog trupa. Uzbudne sile koje potječu od pokretnih masa klipnih strojeva smanjit će se ako se pokretni dijelovi stroja inercijalno bolje uravnoteže. Stroj je praktično potpuno uravnotežen tek onda kada je zatvoren poligon sila inercije prvog i drugog reda kao i poligon

Tablica 1
UTJECAJ VIBRACIJA NA ČOVJEKA

Utjecaj na čovjeka	Vertikalna ubrzanja, g		Horizontalna ubrzanja, g	
	na krajevima broda	u kabinama	na krajevima broda	u kabinama
vrlo slab	0,010	—	—	—
slab	0,010...0,025	0,010	0,010	—
zamjetljiv	0,025...0,050	0,010...0,025	0,010...0,025	0,010
neznatno neprijatan	0,050...0,120	0,025...0,050	0,025...0,050	0,010...0,025
vrlo neprijatan	0,120...0,250	0,050...0,125	0,050...0,125	0,025...0,050
krainje neprijatan	0,250...0,500	0,125...0,250	0,125...0,250	0,050...0,120
jedva podnošljiv	0,500...1,000	0,250...0,500	0,250...0,500	0,120...0,250
nepodnošljiv	1,000	0,500	0,500	0,250

njihovih momenata. Neuravnoteženi pomoćni strojevi mogu se radi izoliranja uzbudnih sila postaviti na elastične temelje ili gume-ne oslonce, ali to nije u brodogradnji još općenito prihvaćeno.

Uzbudna energija koju neuravnoteženi stroj daje sistemu zavisi od njegovog položaja po dužini broda. Što se stroj nalazi bliže čvoru to više dolaze do izražaja neuravnoteženi momenti, a manje neuravnotežene sile; ako je u protučvoru, onda je obratno.

Da bi se smanjile uzbudne sile propelera, on treba da je pomno uravnotežen, a uspon pojedinih krila treba da je što više izjednačen. Povoljnim oblikovanjem krme treba omogućiti slobodan dotok vode propelerima i homogeniju raspodjelu sustrujanja. Da se impulsi propelera ne bi prenosili na oplatu trupa, propeler mora biti dovoljno udaljen od oplata. Sl. 4 daje minimalne razmake između vrha krila propelera i okvira krmene statve.

Kad brod ima više propelera, može doći do neugodnih pulzirajućih vibracija ako brzine svih propelera nisu potpuno jednake. Postoje posebni uređaji za sinhronizaciju brzine propelera kojima se ta pojava može spriječiti.

Kao što pokazuje dijagram na sl. 2, nemoguće je izbjeći rezonanciju sa vlastitim frekvencijama svih oblika titranja trupa. Ipak treba svakako nastojati da ne dođe do rezonancije s najnižim vlastitim frekvencijama jer su kod tih rezonancija, zbog neznatnog prigušenja, amplitude vibracija vrlo velike. S tog razloga je važno proračunati ili ocijeniti vlastite frekvencije još u fazi projektiranja broda. Pokušaj da se razmještajem tereta ili balasta na završenom brodu utječe na vlastite frekvencije nižih oblika titranja najčešće ostaje bez uspjeha.

J. Uršić A. Vučetić

BRODOGRAĐEVNI MATERIJALI

Za gradnju, opremu i unutrašnje uređaje broda upotrebljava se daleko širi asortiman najrazličitijih materijala nego za bilo koji drugi proizvod. Od tog velikog broja raznovrsnih materijala jedino nekoliko osnovnih, od kojih su izrađeni trup broda, pogonsko postrojenje i glavni dijelovi opreme, ugrađuju se u velikim količinama, a svi mnogobrojni ostali materijali tek u vrlo malim. Ti osnovni materijali mogu se podijeliti na metale, drvo i plastične mase.

Svi materijali koji služe za gradnju trgovačkih brodova moraju svojim osobinama i kvalitetom odgovarati propisima klasifikacionih društava. Ratne mornarice redovno imaju svoje vlastite propise o materijalima za gradnju ratnih brodova; npr. naša ratna mornarica ima tzv. Tehničke uslove mornarice — TUM.

Propisima je određen način ispitivanja prilikom preuzimanja materijala. Ispituju se osobine materijala, kao npr. čvrstoća, rastezljivost, kemijski sastav, mikrostruktura itd., a kontroliraju se dimenzije i težina pojedinih komada. Ispitivanje i preuzimanje materijala vrše predstavnici klasifikacionog društva, koji za sav ispitani i preuzeti materijal izdaju posebnu svjedodžbu (atest), a svaki pojedini komad označe žigom klasifikacionog društva.

Danas su daleko najvažniji brodograđevni materijal metali. Sa izuzetkom čamaca i pojedinih malih brodova, brodski trup je od metala, pogonsko postrojenje i svi brodski strojevi su uvijek isključivo metalni, a i pretežni dio brodske opreme je izrađen od metala. Među metalima po značaju i količini dolazi na prvo mjesto čelik. Za brodsku konstrukciju i dijelove opreme služe osim čelika i ostali metali, kao: lake legure, obojeni metali itd., ali u znatno manjim količinama.

Željezo i čelik. Brodski trup je izrađen od čeličnih limova i profila, a neki dijelovi brodskog trupa, kao što su pramčana i krmna statva, sidrena ždrijela itd., mogu biti i masivni komadi od lijevanog čelika ili lijevanog željeza. Čelik koji služi za izradu brodskog trupa naziva se brodograđevni čelik.

Za brodograđevni čelik je važno da bude čvrst, žilav (otporan protiv stvaranja prskotina), da se može savijati i oblikovati u hladnom i u užarenom stanju, da se može električki zavarivati i da kod naglih udara, izazvanih sudarom, nasukanjem ili eksplozijom, ne puca, već se samo deformira. Zato primjese koje stalno prate željezo, ugljik C, mangan Mn i silicij Si, moraju biti sadržane samo u onim količinama koje povoljno utječu na ta svojstva čelika, a sumpora S i fosfora P treba da bude u čeliku što manje, jer imaju nepovoljno djelovanje.

Svojstva brodograđevnog čelika moraju odgovarati propisima klasifikacionih društava. Ti propisi nisu jedinstveni, jer pojedina klasifikaciona društva različito dijele brodograđevni čelik prema kvalitetu, određuju različite načine ispitivanja, a i različito tretiraju čelike s obzirom na način proizvodnje. Dok čelik dobiven Siemens-Martinovim postupkom ili u elektro-pećima priznaju sva klasifikaciona društva, za čelik proizveden Thomasovim postupkom pojedina klasifikaciona društva postavljaju izvjesna ograničenja.

Tablica 1
MEHANIČKE OSOBINE BRODOGRAĐEVNOG ČELIKA

Oznaka	Čvrstoća kp/mm ²	Granica razvlačenja kp/mm ²	Izduženje δ_5 , %	Tvrdoća po Brinellu kp/mm ²
Č 34	34...42	18	30	95...115
Č 42	42...50	23	25	115...140
Č 44	44...52	25	22	125...145
Č 52	52...62	35	20	145...175

Prema propisima klasifikacionih društava prosječna čvrstoća čelika za trgovačke brodove kreće se između 40 i 50 kp/mm² a izduženje od 15 do 22%, zavisno od namjene čelika. Ako se limovi ili profili moraju savijati na hladno, čvrstoća će biti nešto manja a rastezljivost veća, a ako se oblikuju u užarenom stanju, čvrstoća može biti nešto veća a rastezljivost manja. Za gradnju ratnih brodova upotrebljavaju se čelici čvrstoće između 55 i 65 kp/mm², što su već gornje granice običnog ugljičnog čelika koji se još može obrađivati metodama standardnim u brodogradnji. U tabl. 1 prikazani su podaci o kvalitetima brodograđevnog čelika.

Čelik kvaliteta Č 34 upotrebljava se za zakovice, Č 42 za brodske limove i profile, Č 52 za neke važnije dijelove brodske konstrukcije koji moraju imati veliku čvrstoću i visoku granicu razvlačenja, Č 44 za zakovice kojima se zakrivaju dijelovi od Č 52. Svi kvaliteti od Č 34 do Č 52 mogu se zavarivati, jedino se za Č 52 moraju upotrijebiti specijalne elektrode.

Kad se je prešlo na zavarene brodske konstrukcije, klasifikaciona društva su donesla propise kojima se od brodograđevnog čelika pored ostalog zahtijeva da se može lako zavarivati i da je žilav. U području zavarenih šavova postoji opasnost krkog loma,

pa žilavost mora biti tolika da ne dozvoljava nastajanje i širenje prskotina.

Žilavost čelika i njegova sposobnost da se lako zavaruje zavise o kemijskom sastavu čelika. Zato propisi klasifikacionih društava određuju i maksimalnu ili minimalnu količinu pojedinih kemijskih sastojaka brodograđevnog čelika, odnosno njihove međusobne odnose. Prema propisima svih klasifikacionih društava ograničena je količina ugljika u brodograđevnom čeliku na najviše 0,23%. Radi bolje žilavosti čelika omjer između količine mangana i ugljika mora biti veći od 3. Da pri zavarivanju čelik ne bi pucao, sadržaj silicija mora biti manji od 1%. Ako u čeliku ima i drugih sastojaka, ne smiju se preći ove granice: C + Cu \leq 0,35%; C + Mo \leq 0,50%; C + V \leq 0,40%; C + Mn \leq 1,4%; C + Ni \leq 3%, Cu \leq 0,6%.

Cijevi, odljevci i otkivci na brodu obično su od čelika čija se čvrstoća kreće od 34 do 52 kp/mm². Cijevi koje služe za jarbole, samarice, bitve, upore itd., moraju biti čvršće, pa su izrađene od čelika koji sadrži ~ 0,35% C, ima čvrstoću 55...65 kp/mm², granicu razvlačenja 30 kp/mm² i izduženje 17%.

Manje opterećeni dijelovi brodske opreme mogu biti od lijevanog željeza, koje se proizvodi od sirovog željeza uz dodatak lomljenog željeza i otpadaka čelika. Takvi željezni odljevci obično sadrže preko 1,7% C, imaju malo izduženje a čvrstoća im je do 12 kp/mm². Kvalitetniji željezni odljevci, koji služe za jače opterećene dijelove kao što su razni strojni dijelovi, dijelovi armature izloženi visokoj temperaturi ili intenzivnoj koroziji, imaju čvrstoću od 20 do 26 kp/mm².

Čelični odljevci i kovani čelični dijelovi su od Siemens-Martin-čelika, a uglavnom služe za dijelove strojeva, sidra, brodske lance, skrokove, osovine itd. Za različite konstruktivne dijelove broda koji su izvrnuti naročitim naprezanjima upotrebljavaju se različite vrste legiranih čelika. U tablici 2 i 3 prikazani su sastav, osobine i primjena legiranih čelika koji se upotrebljavaju u brodogradnji.

Legirani čelici se upotrebljavaju i za oklope ratnih brodova. Manji oklopi su od cementiranog čelika sastava: 0,5% C; 0,25% Si; 0,6% Mn; 0,04% S; 0,04% P; 4,0% Ni; 2,5% Cr i 0,6% V. Za veće oklope na vodnoj liniji i na palubi upotrebljava se čelik dobiven u elektro-lučnim pećima. Oklopne ploče određenog oblika, nakon lijevanja i manje obrade, podvrgavaju se naročitom termičkom postupku, da bi dobile visoku tvrdoću. Njihov približni kemijski sastav je: 1,25% C; 13,5% Mn; 0,6% Si; 0,03% P; 0,03% S; 16% Cr; 3,5% Mo; 3,5% Cu; 1,5% Pb; 0,1% N.

Bakar i bakarne legure. Na brodovima se čisti bakar upotrebljava za električne vodove i dijelove električnih uređaja, za dijelove strojeva, neke cijevne vodove i općenito na svim mjestima gdje se traži dobra električka i termička vodljivost, otpornost prema koroziji i elastičnost, a nije potrebna velika čvrstoća. U drvenoj brodogradnji pojedini drveni dijelovi brodskog trupa spajaju se bakrenim čavlima, a nekada se je čitav podvodni dio trupa oblagao bakarnim limom radi zaštite od brodotočca i da se spriječi obrastanje oplata.

Tablica 2
KEMIJSKI SASTAV LEGIRANIH ČELIKA KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U BRODOGRADNJI (U PROCENTIMA)

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	Ti	Razno
1	0,20	0,25	0,60	0,02	0,02	1,40	0,60	0,20	—	—	—	—
2	0,30	0,25	0,55	0,02	0,03	3,00	0,60	—	—	—	—	—
3	0,04	0,45	0,50	0,01	0,002	9,00	18,00	—	—	0,09	0,40	—
4	0,15	0,20	0,60	0,03	0,03	—	0,80	0,50	—	—	—	—
5	0,15	0,25	0,50	0,03	0,03	—	0,80	0,20	—	—	—	—
6	0,18	0,25	0,90	0,03	0,03	—	1,20	0,25	—	—	—	—
7	0,10	0,20	—	0,01	0,01	—	17,00	2,00	—	—	0,20	—
8	0,10	1,00	—	0,01	0,01	—	23,00	—	2,00	—	—	—
9	0,10	0,35	0,50	0,01	0,002	8,00	18,00	—	—	—	0,20	—
10	0,12	0,20	17,00	0,01	0,002	1,00	14,00	—	—	—	—	—
11	0,50	0,35	0,80	0,03	0,03	—	1,00	—	—	—	—	0,15 V
12	0,60	1,80	0,50	0,03	0,03	—	0,30	—	—	—	—	—
13	0,50	1,50	1,00	0,01	1,002	13,00	15,00	—	—	—	—	2,5 W
14	0,20	0,25	0,50	0,02	0,02	5,00	—	—	—	—	—	—
15	0,40	0,35	1,50	0,03	0,03	—	—	—	—	—	—	—
16	0,30	0,25	0,50	0,03	0,03	3,50	0,80	—	—	—	—	—
17	0,20	0,20	0,40	0,03	0,03	1,80	1,40	0,20	1,00	—	—	—
18	0,20	0,30	0,40	0,03	0,03	—	13,00	1,50	—	—	—	—
19	0,10	0,35	1,00	0,01	0,002	13,00	16,00	0,20	—	—	—	—
20	0,10	0,20	0,30	0,01	0,002	8,00	18,00	—	—	3,00	0,50	—

Tablica 3

MEHANIČKE OSOBINE LEGIRANIH ČELIKA KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U BRODOGRADNJI

Označka	Čvrstoća kp/mm ²	Granica razvlačenja kp/mm ²	Izduženje δ_5 %	Zilavost po Charpyju kp/cm ²	Čvrstoća na 500°C, kp/mm ²	Primjena
1	55...65	40	18	6	—	Limovi i profili za brodski trup visoke čvrstoće (podmornice)
2	100...110	80	10	5	—	Za naoružanje ratnih brodova (topovi, mitraljezi, torpeda)
3	58...63	33	45	20	—	Periskopi na podmornicama
4	45...58	30	22	6	18	Limovi i cijevi parnih kotlova
5	60...80	40	12	—	—	Za sve dijelove koji se cementiraju
6	75...85	60	17	6	—	Čvrstoća je za jezgru poslije cementiranja
7	70...85	48	18	8	15	Vijci i kotve za dizel-motore
8	55...80	35	10	—	30	Za sve dijelove koji treba da su otporni prema morskoj vodi
9	65...85	35	25	—	25	Dijelovi ložišta koji treba da su otporni na temperaturi 1200°C
10	70...85	30	40	—	—	Za sve slučajeve gdje se zahtijeva visoka otpornost prema koroziji i povišenoj temperaturi (turbinske lopatice i sl.)
11	100...120	80	10	—	—	Nemagnetičan čelik za dijelove oko magnetskoga kompasa
12	190...210	120	5	—	—	Za predmete gdje se zahtijeva naročito visoka otpornost
13	90...110	60	15	—	50	Za opruge ventila u motorima s unutrašnjim izgaranjem
14	52...65	35	22	—	—	Ventili motora s unutrašnjim izgaranjem. Otporan na temperaturi 800°C
15	70...85	45	15	8	—	Sapnice parnih turbina
16	90...105	70	10	8	14	Dijelovi koji su izloženi jakom trošenju (pogonski kotači, zupčanici)
17	80...100	60	14	—	—	Brodске osovine, turbinski rotor i sl.
18	70...85	48	18	—	15	Čelik za nitiranje za dijelove koji su izloženi jakom trošenju
19	85...95	45	20	10	25	Za turbinske lopatice, turbinske ploče, za sapnice itd.
20	55...60	40	35	15	—	Za kotlove visokog pritiska Za brodske propelere

Bakar je mekan i ima malu čvrstoću pa se ne može upotrijebiti za jače opterećene dijelove. Legiranjem bakra s drugim metalima dobivaju se čvrste i tvrde legure, koje u brodogradnji imaju široku primjenu.

Kalajne bronce (sastava 85...91% Cu, 9...15% Sn, 1,0...1,5% Pb, do 0,5% Ni) služe za izradu dijelova koji moraju biti dovoljno čvrsti i otporni protiv morske vode, kao što su npr. armature na parnim vodovima, ležaji i košuljice ležaja, kućišta kondenzatora, pumpe za morsku vodu itd.

Aluminijske bronce (sastava 85...91% Cu, do 2% Pb, 9...12% Al, do 1% Ni, do 1% Zn) otporne su protiv korozije, udaraca i zamorenosti materijala. Na brodovima se upotrebljavaju za razne livene komade, kao npr. za dijelove motora s unutarnjim izgaranjem, brodske vijke, pužna kola, sjedišta ventila, ležaje itd.

Silicijska bronca (sastava 98,2% Cu, 0,3% Mn, 1,5% Si) služi na brodu za razne sitne odlivke i za dijelove koji moraju biti otporni protiv kiselina.

Osim običnog mesinga, u brodogradnji se mnogo primjenjuju i razni specijalni mesinzi koji osim bakra i cinka sadrže manje dodatke drugih metala. Mesing za kondenzatorske cijevi sadrži 2...5% aluminija, a mesing s dodatkom mangana je vrlo čvrst pa služi za vretena, matice i vijke koji su jako opterećeni, zupčanike, brodske vijke, osovine itd. Specijalni mesinzi za brodske vijke imaju dodatke nikla, aluminija, mangana i željeza, a odlikuju se vrlo visokom čvrstoćom.

Aluminij i aluminijske legure. Zbog male težine, otpornosti prema koroziji, lake obradljivosti, lijepog izgleda i nemagnetičnosti aluminij i njegove legure sve se više upotrebljavaju u bro-

dogradnji. Kao konstruktivni materijal lake legure služe za izradu nadgrada broda, stubišta, okvira i poklopaca na brodskim prozorima, dijelova oko magnetskog kompasa, poklopaca na grotlima skladišta, tankova za tekućinu, ventilacijskih vodova, unutrašnjih obloga hlađenih skladišta, namještaja u kabinama, čamaca i splavi za spasavanje i za niz drugih unutrašnjih i palubnih brodskih uređaja. Čisti aluminij u tankim listovima služi za toplinsku i akustičku izolaciju. Danas se već grade manji brodovi, jahte i motorni čamci potpuno od aluminijskih legura.

Izbor legura aluminija za primjenu u brodogradnji ograničen je na mali broj jer se upotrebljavaju samo one legure koje su otporne prema morskoj vodi. To su legure aluminija s magnezijem, silicijem i manganom, a katkad i s manjim dodacima drugih metala (kroma, titana, cinka, željeza). Za brodogradnju su najvažnije legure aluminija sa 3...5% magnezija.

Drvo. Do druge polovine XIX st. drvo je bilo jedini materijal za gradnju broda, a još i danas među brodograđevnim materijalima zauzima važno mjesto. Još uvijek se od drveta grade čamci, jahte, ribarski brodovi i manji morski i riječni brodovi, a na čeličnim brodovima drvo služi za oblaganje paluba, za unutarnje pregrade nastambi, obloge i pomične pregrade skladišta, poklopce grotala, namještaj, itd.

Prednosti drveta jesu: što se lako obrađuje, što je elastično pa je drvena brodska konstrukcija vrlo otporna prema udarcima, što je izvrstan toplinski izolator, što je relativno jeftino, što za gradnju drvenih brodova nisu potrebni složeni i skupi strojevi i alati, i što je popravak drvene brodske konstrukcije jednostavniji nego čelične.

Drvo kao brodograđevni materijal ima i nekoliko krupnih nedostataka, što je razlog da se u brodogradnji drvo sve više zamjenjuje različnim drugim materijalima. Čvrstoća konstrukcije drvenih brodova građenih na konvencionalni način je relativno mala, jer su spojevi građevnih dijelova slabiji od samih tih dijelova. Lamelarnim sistemom gradnje taj se nedostatak otklanja, ali troškovi gradnje rastu. Trajnost drveta je ograničena, a naročito brzo propadaju oni dijelovi koji se nalaze naizmjenično pod vodom i nad njom. Drvo napadaju i razaraju brodotočac, različni crvi, insekti i gljivice. Veliki nedostatak drveta je laka zapaljivost. Različnim premazima i impregnacijom povećava se trajnost drveta i smanjuje njegova zapaljivost, a preradom u panelploče, šperploče i proizvode od drvenih ivera i piljevine dobivaju se

Tablica 4

GLAVNE VRSTE BRODOGRAĐEVNOG DRVETA

Naziv	Gustoća kg/dm ³	Primjena u brodogradnji
Jela	0,60	obloge i pregrade skladišta, oplata dvodna palubne trenice, obloge skladišta, pregrade, jarboli
Bor	0,65	
Smreka	0,50	obloge i pregrade skladišta, podnice, pokrovi grotla, jarboli
Ariš	0,60	čamci za spasavanje
Oregonski bor (Oregon pine)	0,58	
Pičpajn (pitchpine)	0,60	elementi trupa drvenog broda, obloge skladišta, vanjska i unutarnja oplata, pokrovi grotla, jarboli, križevi, bokobrani
Bijeli bor (white pine)	0,52	obloge skladišta
Cedar	0,45	čamci, jahte, namještaj
Hrast	0,74	
Javor	0,70	elementi trupa drvenog broda, unutarnje obloge kabina, palubne kućice, čamci za spasavanje, namještaj
Jasen	0,74	unutarnje obloge kabina, dijelovi čamaca, namještaj
Brijest	0,67	elementi trupa drvenog broda, vesla, rukohvati, ograde, namještaj
Orah	0,69	unutarnje obloge kabina, namještaj
Mahagoni	0,81	
Tikovina	0,67...0,86	oplata i trenice palube jahti i čamaca, unutarnja oprema salona i kabina
Zelena ebanovina (greenheart)	1,14	elementi trupa drvenog broda, palubne kućice, trenice palube, pregrade, obloge kabina, čamci za spasavanje
Gvajak (lignum vitae), rakovina	1,3	košuljice ležaja osovina, obloga ležaja kormila
Balza	0,15	košuljice ležaja osovina, obloga stative cijevi, obloga ležaja kormila, koloturnici splavi za spasavanje, pojasi za spasavanje

Primjedba: Naznačene gustoće drveta predstavljaju srednje vrijednosti za suho građevno drvo.

materijali sa znatno boljim mehaničkim i tehničkim svojstvima nego što ih ima prirodno drvo.

U tablici 4 dat je pregled najvažnijih vrsta drveta koja se upotrebljavaju u brodogradnji. Kvalitet i osobine koje mora imati brodograđevno drvo određeni su propisima klasifikacionih društava. U nas postoje i tehnički uslovi Jugoslavenske ratne mornarice sa detaljnim propisima o brodograđevnom drvetu; oni obuhvataju: jelovinu (trupci, jarboli, tesane i piljene grede, daske, letve i blanžane daske), borovinu (trupci, jarboli, piljene grede, daske i palubne trenice), ariševinu (trupci, jarboli, piljene grede i daske), brijestovinu (trupci i daske), bukovinu (daske), lipovinu i javorovinu (daske).

Plastične mase. Nakon Drugog svjetskog rata naglo se je razvila industrija plastičnih masa i povećao se broj novih sintetičkih materijala najrazličitijih specifičnih svojstava. Zbog niza dobrih osobina plastične mase se u posljednje vrijeme sve više upotrebljavaju i u brodogradnji umjesto klasičnih brodograđevnih materijala: drveta i metala.

Danas postoji veliki broj plastičnih masa (v. *Plastične mase*), koje imaju različita mehanička svojstva, ali svim je plastičnim masama zajedničko da su dobri izolatori elektriciteta i topline, da su rezistentne prema kiselinama, lužinama i ostalim agresivnim supstancijama, da su nemagnetične, ne korodiraju, ne trunu niti ih napadaju crvi, insekti i gljivice, prikladne su za oblikovanje kompliciranih komada, a masovna proizvodnja predmeta od plastičnih masa je jeftina.

Pojedini plastični materijali su tvrdi i dovoljno čvrsti da mogu služiti za konstruktivne dijelove broda. Među takve materijale spadaju poliesterske i epoksidne smole, koje pojačane staklenim vlaknima služe za izradbu brodskog trupa. Danas se već masovno proizvode čamci i jahte sa trupom od tih smola pojačanih staklenim nitima, a postojeći tehnološki postupci omogućavaju da se na taj način grade brodski trupovi do 40 m dužine. Prednosti trupa od plastične mase jesu: što je čitav trup izrađen u jednom komadu pa je nepropusnost bolja nego kad je konstrukcija trupa sastavljena od nekoliko komada; što u morskoj vodi trup od plastične mase ne korodira, ne trune, manje ga obrastu školjke i alge, a obrastao trup se lakše očisti, ne napada ga brodotočac; lakši je nego drveni ili čelični trup iste čvrstoće, a s obzirom na toplinsku izolaciju je bolji od metalnog trupa; nije zapaljiv; troškovi održavanja su niski jer bojadisanje nije potrebno, a oštećenja trupa popravljaju se relativno lako i jednostavnim sredstvima. Pojačani poliester od kojeg se izrađuje brodski trup i različni dijelovi brodske opreme, kao npr. vrata, okviri brodskih prozora, pokrovi, tankovi itd., ima vlačnu čvrstoću 7·10⁴ kp/mm², čvrstoću savijanja 13·15 kp/mm², tlačnu čvrstoću 18·20 kp/mm² i modul elastičnosti 0,7·10⁴ kp/mm².

Važna je primjena različitih plastičnih masa za izradu dijelova opreme broda. U brodskim električkim instalacijama od plastičnih se masa izrađuju razvodne kutije, utičnice, sklopke, električke izolacije, obloge kablova itd. Cijevi od polivinil-klorida služe za ventilacijske vodove, vodove hladne vode, kao doglasne cijevi, rukohvati itd., a od ploča se izrađuju pregradni zidovi, tankovi, spremnici i sl. Polivinilnim folijama i pločama oblažu se podovi i zidovi nastambi. Spužvaste i pjenaste plastične mase (Iporka, Onazot, Stiropor) upotrebljavaju se za zvučnu i toplinsku izolaciju brodskih prostorija. Tvrde plastične mase služe za izradu zupčanika i kao košuljice u ležajima osovina. Od poliamidnih smola (Nylona i Perlona) se izrađuju užeta za privez broda. Nadalje, u brodogradnji se različite vrste plastičnih masa upotrebljavaju za izradbu namještaja kabina i salona, sanitarnih uređaja, fleksibilnih cijevi za gorivo, brtvi za benzinske tankove, nepromočivih pokrivača i velikog broja drugih najraznovrsnijih predmeta.

Cement. U izuzetnim slučajevima trup broda se gradi i od armiranog betona. To se dešava obično za vrijeme rata kad je teško doći do čelika ili kad je čelik potrebniji za druge svrhe. Od armiranog betona se osim brodova grade i veliki plutajući objekti koji u eksploataciji plove rijetko ili nikako, kao što su: plivajući dokovi, brodovi-radionice i brodovi-skladišta.

Prednosti su armirano-betonske konstrukcije brodskog trupa u odnosu na običnu: niža cijena, znatno niži troškovi održavanja i duži vijek trajanja. Nedostaci su brodskog trupa od armiranog

betona što im je težina od 50 do 80% veća nego čeličnog trupa i što je armirano-betonska konstrukcija neelastična pa ne odgovara za brodove koji moraju ploviti po većim valovima.

KONSTRUKCIJA BRODA

Pod nazivom »konstrukcija broda« razumijeva se strukturni sastav brodskog trupa, tj. oblik, dimenzije, raspored i način spajanja građevnih dijelova broda.

Usporedo s razvojem nauke i tehnologije mijenjala se je i usavršavala konstrukcija broda. Usvajanje novih tehnoloških postupaka, uvođenje novih građevnih materijala, novi sistemi brodskog pogona, nova saznanja na području primijenjene hidrodinamike i nauke o čvrstoći, sve složeniji i veći zahtjevi koje su brodovi morali zadovoljavati, imali su za posljedicu da se je u posljednjih sto godina brodske konstrukcija znatno usavršila. U ovom poglavlju obrađena je konstrukcija morskih čeličnih trgovačkih brodova, konstrukcija je drvenih brodova prikazana u slijedećem poglavlju, a specifična konstruktivna rješenja pojedinih specijalnih tipova brodova opisana su u odgovarajućim člancima o tim brodovima (v. *Brodovi, specijalni, Brodovi unutrašnje plovidbe, Ratni brod*).

Glavni konstruktivni dijelovi broda, njihov oblik i raspored na brodu vide se iz sl. 1 i 2. U konstruktivnim nacrtima brodskog trupa pregled osnovnih građevnih dijelova broda daje se nacrtom glavnog rebra. Taj nacrt prikazuje poprečni presjek trupa na sredini broda i na njemu su naznačene dimenzije osnovnih građevnih dijelova. Uobičajeno je da se u opisu unesu nazivi i dimenzije i onih osnovnih građevnih dijelova broda koji u nacrtu nisu prikazani (sl. 3).

Građevni dijelovi broda mogu se podijeliti u tri grupe: nosive konstruktivne strukturne dijelove, građevne dijelove koji osiguravaju nepropusnost i ostale dijelove koji služe za različne svrhe.

Sa stanovišta čvrstoće može se brod promatrati kao nosač na koji za vrijeme mirnog plutanja ili za vrijeme plovidbe djeluju statičke i dinamičke sile, i to poprečno i uzdužno. Zato trup broda ima poprečne i uzdužne konstruktivne dijelove koji se suprotstavljaju djelovanju tih sila. Konstrukcija u kojoj izrazito prevladavaju poprečni građevni dijelovi naziva se *poprečnom* a ona u kojoj prevladavaju uzdužni građevni dijelovi naziva se *uzdužnom*.

Na drvenim brodovima mogu se jednostavnije i lakše izvesti spojevi kratkih građevnih dijelova, a to su poprečni; stoga se u njihovoj gradnji primjenjuje poprečni sistem gradnje. Čelični brodovi su se počeli graditi uglavnom na isti način kao drveni, tj. poprečnim sistemom, a uzdužni sistem se je uveo tek kasnije.

Osnovna karakteristika poprečnog sistema gradnje čeličnih brodova su poprečna rebra koja čine konstruktivnu podlogu za pričvršćenje vanjske nepropusne oplata. Uzdužnu čvrstoću broda uglavnom osiguravaju: kobilica, hrptenica ili pasmo, bočni uzdužni nosači, bočne proveze, palubne proveze i podveze, oplata dna, neprekinuta oplata paluba, oplata pokrova dvodna i dijelom oplata boka u zonama udaljenim od neutralne osi.

Djelovanju poprečnih sila suprotstavljaju se poprečni građevni dijelovi konstrukcije: rebrenice, bočna rebra i sponje, koji obrazuju zatvorene okvire, a naročito poprečne pregrade i njihove horizontalne ukrepe. Za povećanje poprečne čvrstoće ugrađuju se i prostorne sponje.

Osnovna je karakteristika uzdužnog sistema da su rebra koja ukraćuju dno, pokrov dvodna, vanjska oplata i sponje palube postavljena paralelno s uzdužnom osi broda. Na poprečnim pregradama moraju se uzdužna rebra i uzdužne sponje dobro pričvrstiti ili upeti. Ako bi uzdužna rebra nepoduprto tekla od jedne poprečne pregrade do druge, ona bi morala biti jaka, tj. visoka, i prema tome teška. Da se to izbjegne, primjenjuju se tzv. okvirna poprečna rebra o koja se uzdužna rebra podupiru. Okvirna rebra se sastoje od rebra, rebrenice i proturebra (po pravilu dvostruke prirubnice). Sponja može biti također okvirna i s okvirnim rebrom može obrazovati potpuno zatvoreni okvirni nosač.

Da bi se iskoristile prednosti jednog i drugog sistema gradnje, može se primijeniti *kombinirani sistem*; uzdužnim sistemom je izvedeno dno, a poprečnim bokovi broda. Postoji i drugi način da se uzdužni i poprečni sistem kombiniraju, zvan *mješoviti sistem*. Na pramcu i na krmi, gdje se forma broda naglo mijenja, teško