

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:1
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

4. LIVENJE I KONSTRUISANJE ODLIVAKA

Livenje je veoma pogodan postupak izrade mašinskih delova čiji je oblik komplikovan ili se ne mogu drugačije izraditi.

Sam postupak livenja tekao bi na sledeći način:

Prvo se izradi model dela koji se lije odično od drveta ili metala. Na osnovu njega načini se šupljina u pesku ili drugom materijalu – kalup. Na kraju se u kalup uliva metal u istopljenom stanju. Wegovim hlađenjem dobija se odlivak.

Livenje u pesku je najgrublje i koristi se za liveno gvožđe i čelični liv, dok je livenje u kokilama mnogo finije i koristi se obojene i lake metale.

Obzirom na visoke troškove izrade kalupa i čitavog postupka uopšte livenje je pogodno samo kada su u pitanju velike serije i masovna proizvodnja.

Konstrukcija odlivaka treba da bude takva da omogući slobodno punjenje šupljina kalupa tečnim metalom, što znači da se mora voditi računa o dovoljnim dotičnim presecima i ravnomernoj raspodeli metala u kalupu. U slučaju tankih zidova postoji opasnost od hlađenja metala još u toku postupka livenja čime se sprečava dalje ispunjavanje kalupa. Nagle promene pravca i brzine kretanja istopljenog metala u kalupu su takođe nepovoljne i treba ih izbegavati. Osim ovog treba izbegavati i sledeće:

- Velike površine (naglo se hlade i zbog toga menjaju strukturu, gasovi i šljaka ostaju zarobljeni u strukturi)
- Veće horizontalne površine pri vrhu kalupa

Najčešća greška kod odlivaka je stvaranje šupljina u unutrašnjosti i prskotina na površini usled smanjenja površine prilikom hlađenja. Očvršćavanje se vrši po slojevima, i to tako da se najpre hlade tanji spoljašnji slojevi. Idući ka unutrašnjosti hlađenje je teže, a očvršćavanje sve sporije. Glavna masa se hladi sporo i ima veliko skupljanje. Kao posledica ovog procesa pojavljuju se šupljine koje smanjuju aktivni presek odlivka u odnosu naprojektovani a time i njegovu čvrstoću.

Procentulano skupljanje zavisi od materijala:

materijal	Skupljanje u procentima
Sivi liv SL	1%
čelični liv ČL	2%
Legure Al, Mg	1.25%
Mesin i bronza	1.5%

*Vrednosti za sivi i čelični liv su tačne dok su vrednosti za lake legure prosečne

Usled skupljanja u materijalu se pojavljuju zaostali naponi i deformacije. Oni mogu biti toliko veliki da izazovu lomljenje odlivaka u toku hlađenja ili kasnije u toku rada. Zbog toga se, naročito ako je čelični liv u pitanju, odlivci obavezno podvrgavaju termičkoj obradi.

Sivi liv je najjeftiniji i ima dovoljno mali stepen skupljanja pa je najpogodniji za izradu odlivaka nosećih struktura (kućita, postolja, stubova itd.) i ima najširu primenu u ovoj oblasti.

Pri projektovanju odlivaka po principu istovremenog stvrđavanja materijala moramo se pridržavati nekih osnovnih principa:

- Treba težiti da zidovi odlivka budu približno iste debljine
- Elementima koji se sporije hlade (unutrašnji zidovi) treba po pravilu dati smanjenje preseka
- Prelazi između zidova različitih debljina treba da budu postepeni
- Zidovi odlivaka ne smeju imati oštre prelaze
- Mesta na kojima se nagomilava materijal treba izbegavati
- Mesta gde se spajaju zidovi manje sa zidovima veće mase treba izvoditi sa blagim prelazom u pravcu povećanja mase
- Oblik odlivka treba da omogući slobodno punjenje kalupa metalom

Kod masovni odlivaka pribegava se ubacivanju metalnih umetaka u cilju povećanja stepena odvođenja toplote.

4.1 KONSTRUISANJE ZIDOVA ODLIVAKA

Na osnovu svega navedenog pravila izbor debljina zidova odlivaka je od velikog značaja.

Minimalna debljina zida određuje se prema uslovima tehnologije livenja i uglavnom je veća nego što uslovi čvrstoće zahtevaju.

Ona pre svega treba da bude dovoljno velika da se obezbedi lako punjenje kalupa.

Obzirom da se unutrašnji zidovi teže hlade od spoljašnjih, njihova debljina mora biti 20–40% manja. Pri tome takođe treba voditi računa da odlivak uglavnom ide na dalju obradu.

Kada se ispune svi navedeni uslovi dolazi se do toga da je debljina zidova odlivaka veća nego što zahtevaju uslovi čvrstoće i krutosti.

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:2
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

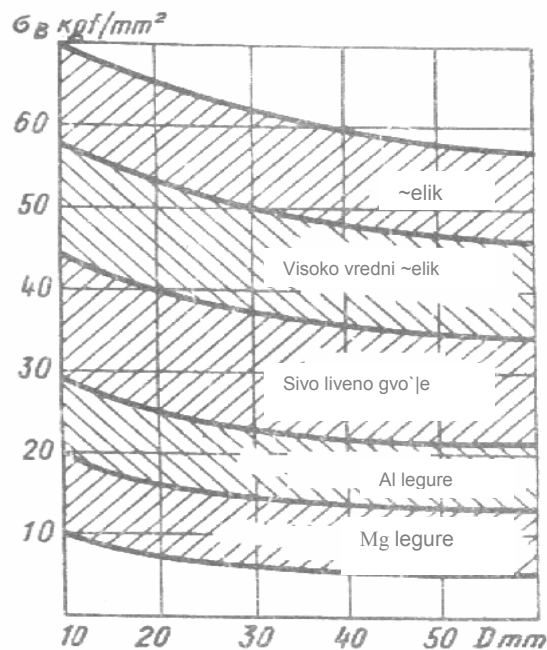
Razvoj tehnologije livenja ide u tom pravcu da se smanji debljina zidova odlivaka i da se ona približi uslovima koje diktiraju potrebna čvrstoća i krutost.

Razlika u debljinama zidova kod jednog odlivka treba da bude što manja a ukoliko je neophodna prelazi treba da budu što manji, ali bez nepotrebnog nagomilavanja materijala. Ovo je naročito bitno kod konstrukcija koje su opterećene dinamičkim opterećenjem, jer prskotine koje nastaju kao posledica nagomilavanja materijala postaju izvori koncentracije napona i vrlo nepovoljno utiču na ponašanje konstrukcije pri dinamičkom opterećenju.

4.2 DEBLJINA ZIDA I JAČINA ODLIVKA

Zidovi odlivaka pokazuju nejednaku čvrstoću zbog nejednakih uslova kristalizacije. Čvrstoća je najveća u površinskim slojevima gde metal, kao rezultat povećanog stepena hlađenja, dobija fino granulisanu strukturu i gde zaostali pritisni naponi utiču na povećanje čvrstoće. U površinskim slojevima gvozdеног odlivka dominiraju perlit i cementit. Jezgro koje očvršćava sporije ima strukturu sa većim granulama a dominiraju ferit i grafit. Kristali dendrita i šupljine koje nastaju kao posledica skupljanja se često razvijaju u jezgru.

Što je deblji zid veća je razlika u čvrstoći između jezgra i površine. Iz tog razloga povećanje debljine zida nije povezano sa povećanjem čvrstoće celog odlivka. Zavisnost između čvrstoće i prečnika je prikazana na slici 4.1.



Slika 4.1

Iz ovih razloga, a takođe da bi se smanjila težina preporučljivo je da se zidovi odlivaka rade sa minimalnom debljinom koju diktiraju uslovi livenja.

Zahtevanu čvrstoću i tvrdoću treba obezbediti orebravanjem, korišćenjem racionalnih profila i formiranjem konveksnih, sferičnih koničnih i sličnih oblika odlivka. Ovo uvek rezultira lakšom mašinskom konstrukcijom.

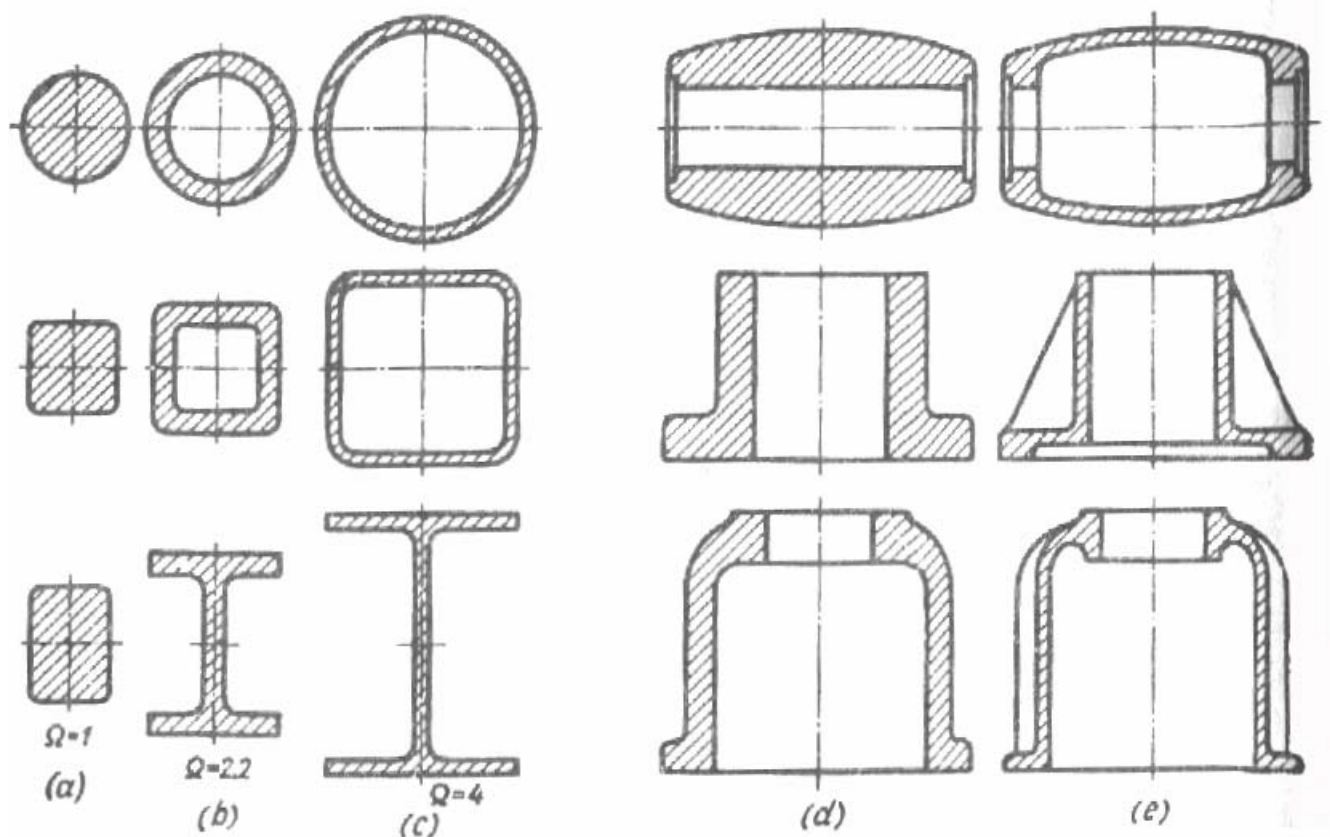
Kvalitet oblika odlivka može se otprilike dobiti odnosom površine i zapremine, ili kada je poznata dužina odnosom obima i poprečnog preseka $\Omega = S / F$.

Na slici 4.2 određuje vrednost Ω za nekoliko ekvivalentnih preseka sa različitim debljinom zida. Masivni oblici (slika 4.2 a) i b)) nisu pogodni zbog kako zbog svoje čvrstoće tako i zbog težine. Oblici sa tankim zidovima (slika 4.2 c) su korektni oblici za odlivke. Slika 4.1 d) pokazuje neracionalno projektovane masivne odlivke dok je racionalan dizajn istih ovih delova sa tankim zidovima dat na slici 4.2 e).

Mašinska obrada livenih delova treba da bude svedena na minimum ne samo zbog smanjenja proizvodnih troškova već iz razloga čvrstoće. Obrada struganjem rezultira skidanjem čvrstih površinskih slojeva sa odlivka.

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:3
---------------------------------	---------------------------	--------------------------



Slika 4.2. Oblici odlivaka

4.3 LIVENJE

Dizajn odlivka mora da obezbedi jednostavnu i pogodnu proizvodnju kalupa. Ovaj uslov može se podeliti na nekoliko delova:

- Komad mora biti takav da se lako može izvaditi iz kalupa
- Jezgro se mora lako liti u kutijama za livenje jezgra
- Oblik i očvršćavanje jezgra ne sme uticati na razstavljanje kalupa

4.3.1 ELIMINACIJA PODSECANJA

Deo se može lako izvaditi iz kalupa ako njegova površina ne sadrži podsecanja – projekcije koje su upravne ili pod uglom u odnosu na pravac razdvajanja – koje su sposobne da odvale delove kalupa dok se deo vadi iz njega. Slika 4.3 a) prikazuje primer podsecanja pri livenju (pravac izvlačenja dela je prikazan strelicama). Slika 4.3 b) pokazuje kako se podsecanje može eliminisati.

Ova greška najčešće se pojavljuje kod orebrenih delova. Kod ovakvih delova ukoliko su rebra upravna ili pod nekim uglom u odnosu na pravac izvlačenja delova iz kalupa pri izvlačenju rebra odvaljuju delove kalupa ili je izvlačenje jako otežano. Podsecanje se u ovakvim slučajevima može eliminisati ukoliko su delovi kalupa koji ometaju izvlačenje napravljeni kao pokretni. Pre nego što se odlivak izvadi ovi delovi se uklone i tada je omogućeno lako izvlačenje odlivka iz kalupa. Drugi način je da se rebra izvedu kao potpuno popunjena i u ovom slučaju se ne pojavljuje podsecanje.

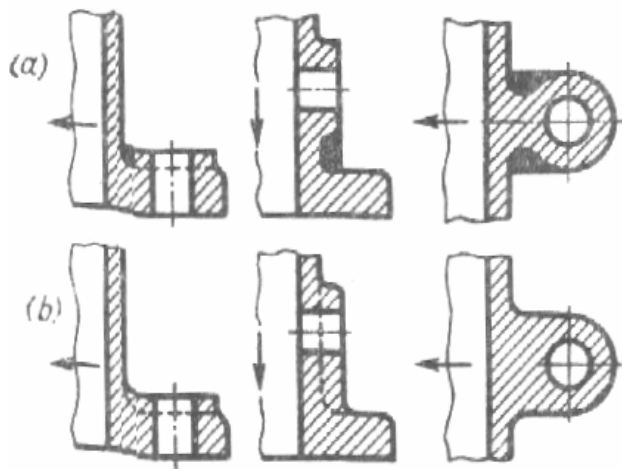
Sve ove metode komplikuju i poskupljuju postupak livenja. Mnogo je bolje konstruisati oblik dela tako da se podsecanje izbegne. Na primer ukoliko su rebra paralelna pravcu izvlačenja dela iz odlivka on se bez problema nakon livenja može izvaditi iz kalupa.

Kada se projektuje odlivak mora se imati jasna ideja postavljanju dela u kalup i o položaju ravni razdvajanja. Kao pravilo treba usvojiti da se delovi liju tako da kritične površine idu ka dnu kalupa jer je metal u donjim slojevima kalupa gušći nego u gornjim. (samim tim u tim slojevima odlivka su poboljšane i mehaničke karakteristike.).

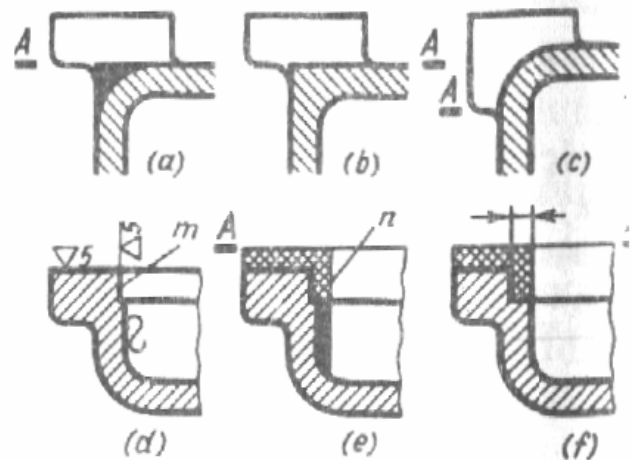
Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:4
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

Slika 4.3 a) pokazuje primere u kojima se pojavljuje podsecanje pri livenju. Pravac u kome se deo izvlači prikazan je strelicom, a crnom bojom su označena mesta na kojima se javlja podsecanje kalupa. Slika 4.3 b) pokazuje kako se podsecanje može eliminisati.



Slika 4.3 a)



Slika 4.3 b)

Slika 4.3. Podsecanje

4.4 RAZDVAJANJE KALUPA

Razdvajanje kalupa duž kosih ili stepenastih površina treba izbegavati obzirom da nepotrebno povećavaju složenost izrade kalupa a samim tim poskupljuju i sam postupak. Kod livenja krivih cevni spojeva livenje se može znatno pojednostaviti ukoliko su spoj i ose izvedene kao prav dok se elementi za vezu mogu delimično izmeniti ili čak ostaviti nepromenjenim.

4.5 POJEDNOSTAVLJENJE OBLIKA ODLIVAKA

Oblik odlivaka treba da bude što je moguće jednostavniji da bi se smanjili troškovi proizvodnje kalupa a samim tim i smanjila konačna cena odlivka kao polufabrikata i konačno cena gotovog proizvoda u čiju izradu ulaze i odliveni delovi. Pojednostavljenjem oblika odlivaka takođe se značajno može uticati na tačnost livenja što u pojedinim slučajevima čak može isključiti i potrebu za daljom mašinskom obradom odlivaka. Takođe se kao dobra praksa pokazalo razdvajanje velikih i komplikovanih delova na nekoliko manjih. Ovo se često sreće kod livenja postolja (kreveta mašina) gde se postolja u obliku prostornograma ne izvode iz jednog livenog komada nego se radi više odlivaka u obliku ravnog rama a zatim se ovi delovi spajaju u jednu celinu.

4.6 UNUTRAŠNJI (ZAOSTALI) NAPONI NAKON LIVENJA

Unutrašnji naponi se javljaju u livenim zidovima čije je skupljanje onemogućeno ili otežano zbog otpora elemenata kalupa ili zidova koji se nalaze do njih. Šupljine nastale skupljanjem i poroznost javljaju se kod onih elemenata odlivka koji se poslednji hlade t.j. kod delova sa debelim zidovima kod kojih je odvođenje toplote otežano.

Povećani unutrašnji (zaostali) naponi mogu izazvati krivljenje odlivka a u pojedinim slučajevima i do pojave prskotina.

Tokom vremena unutrašnji naponi se redistribuiraju kao rezultat sporih difuzionih procesa (prirodno starenje materijala). Posle dve do tri godine deo menja svoj prvobitni oblik što se je kod preciznih mašina nedopustivo.

Naponi usled skupljanja materijala razvijaju se tokom onih faza hlađenja kada metal gubi na plastičnosti (između $500-600\text{ C}^0$ za liveno gvožđe i $600-700\text{ C}^0$ za čelik). Na višim temperaturama promena u dimenzijama se kompenzuje plastičnim tečenjem metala a skupljanje se odražava samo na smanjenje debljine zidova.

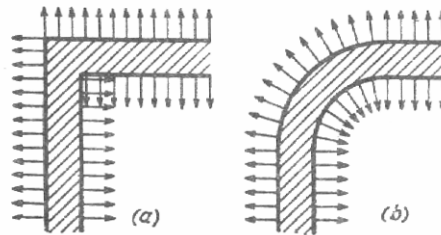
Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:5
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

4.7 KONSTRUKCIONA PRAVILA

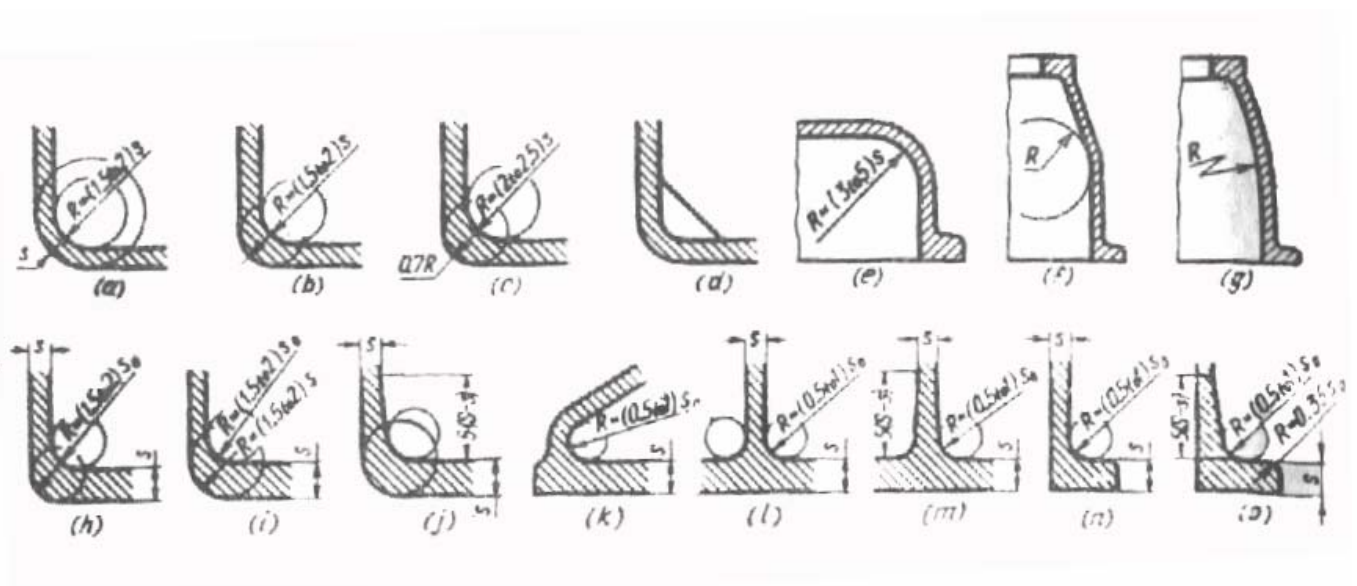
Da bi se obezbedilo istovremeno očvršćavanje debljina unutrašnjih zidova treba da bude otprilike $0.8 S$ gde je S debljina spoljašnjih zidova.

Prelazi između zidova treba da budu blago zakrivljeni (slika 4.4 b). Kada su zidovi spojeni pod pravim uglom kao na slici 4.4 a) linije toplotnog fluksa se poklapaju u unutrašnjem uglu spoja i formiraju zonu u kojoj je hlađenje otežano. Takođe je ovakve spojeve teško popuniti tečnim metalom u kalupu što za posledicu ima pojavu prskotina nakon livenja ili u toku radnog veka ovakvog dela.



Slika 4.4. linije termičkog fluksa pri oštrom i zaobljenom prelazu

Na slici 4.5 od a) do d) prikazani su standardni oblici sastava zidova pod uglom. Sa standardnim prelaznim radijusom $R = (1.5 - 2) S$ koji je opisan iz istog centra zid se na mestu prelaza može stanjiti. Poluprečnici opisani iz različitih centara daju bolje rešenje. Spoljni radijus izveden je kao 1 do 0.7 unutrašnjeg. Da bi se povećalo odvođenje toplote, povećala čvrstoća i sprečile pukotine od skupljanja sastavi sa malim prelaznim radijusom treba da budu ojačani rebrima. Kada god je to moguće treba koristiti maksimalni prelazni radijus koji dozvoljava oblik dela. Na slici 4.5 f) zidovi su spojeni radijusom od $(50 - 100) S$. U ovakvim slučajevima mnogo bolje rešenje je zakrivljeni zid kako je prikazano na slici 4.5 g). Minimalni prelazni radijus kod spajanja zidova različite debljine može se naći iz gornjih odnosa kada se S zameni aritmetičkom sredinom $S_0 = 0.5 (S + s)$ debljina zidova. Ukoliko jerazlika u debljini mala može se usvojiti da je $S_0 = S$. Zidove koji se mnogo razlikuju na spoju pogodno je spojiti prelaznicom dužine $l \Rightarrow 5 (S - s)$. Zidove nikadane treba spajati pod pravi ugao kako je to prikazano na slici 4.5 k). Slike 4.5 l), m) prikazuju preporučene proporcije za T prelaze. Slike 4.5 n) i o) prikazuju prelaze zidova sa obodom.



Slika 4.5

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

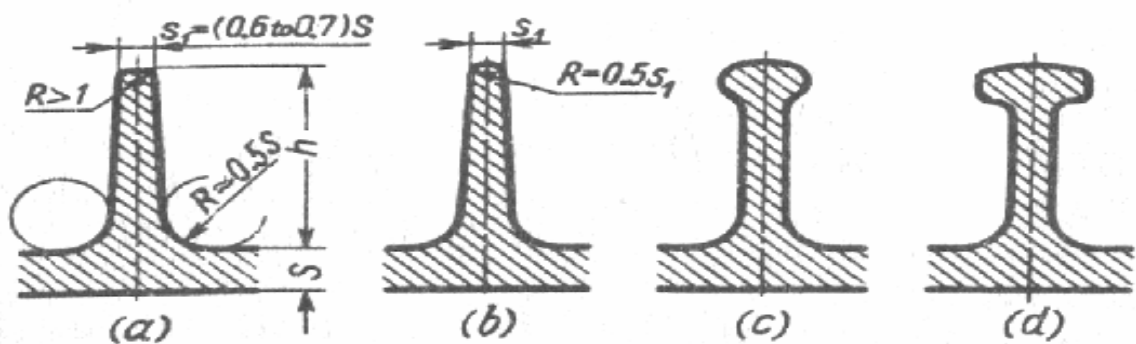
MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:6
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

4.8 REBRA

Rebra se kroiste da bi se povećala krutost i čvrstoća livenih delova i da bi se poboljšali uslovi livenja. Racionalan raspored rebara poboljšava popunjavanje kalupa, sprečava nastajanje šupljina od skupljanja i nastajanje unutrašnjih napona.

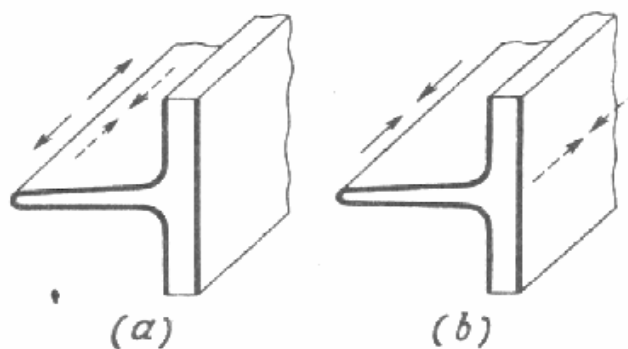
Na slici 4.6 dati su oblici rebara. Debljina S_1 rebara na vrhu je njegov osnovni dimenzioni parametar (slika 4.6 a). Za rebra od 20 do 80 mm visine daje se praktično ista debljina rebara u odnosu na bazu a debljina je praktično nezavisna od visine rebara.

Zaobljenja sa radijusom od najmanje 1mm se obavezna za vrh rebara. Vrhovi rebara debljine manje od 6 – 8 mm su zaobljena punim radijusom od $R = 0.5 S_1$ (slika 4.6 b). Baza rebara je povezana sa rebrom sa radijusom zaobljenja od oko $R \approx 0.5 S$. Rebra zaobljenog vrha i rebara T oblika (slike 4.6 c) i d) pokazuju značajno povećanje čvrstoće. Ovakva rebra liju se uz pomoć jezgara.



Slika 4.6

Ako rebro slici 4.7 a) očvršćava posle zida (što je čest slučaj kod unutrašnjih rebara), tada će tokom skupljanja (pravac skupljanja prikazan je na slici isprekidanim strelicama) doći do razvoja zateznih napona (pune strelice). Isto tako ako rebro očvršćava prvo tada se razvijaju pritisni naponi koji povećavaju čvrstoću rebara. (pravac skupljanja prikazan je na slici 4.6 b) isprekidanom strelicom a pravci pritisnih napona puno strelicom).



Slika 4.6

Brzo hlađenje izaziva smanjenje debljine rebara. Debljina spoljašnjeg rebara je obično od 0.6 do 0.7 S a kod unutrašnjih to dovodi do pogoršanja odvođenja toplote. (0.5 do 0.6) S, gde je S debljina zida.

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:7
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

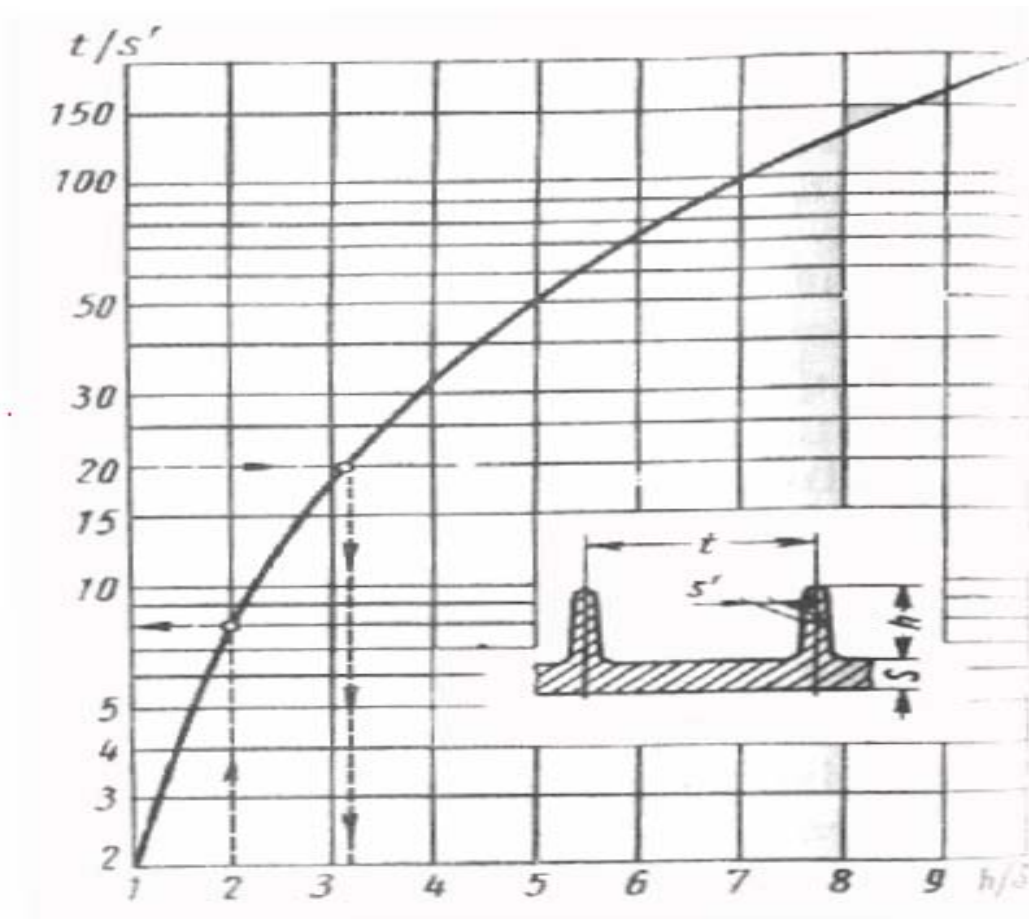
Tanka, kratka i retko raspoređena rebra sa malim odnosom između poprečnog preseka i preseka zida smanjuju otporni moment savijanja i čvrstoću iako povećavaju krutost. Ovo oslabljenje se može izbeći gušćim rasporedom rebara. Maksimalno rastojanj između dva rebra pri kome ne dolazi do slabljenja može se naći prema formuli:

$$t = 2S' \left(\frac{h}{S} \right)^2$$

gde je :

- S' debljina
- h visina rebra
- S debljina zida

Na dijagramu 4.7 koji je konstruisan na osnovu prethodne formule mogu se lako odrediti potrebni parametri rebara.



Slika 4.7

Naknadna obrada rebara oslabljuje rebra i treba je izbegavati .

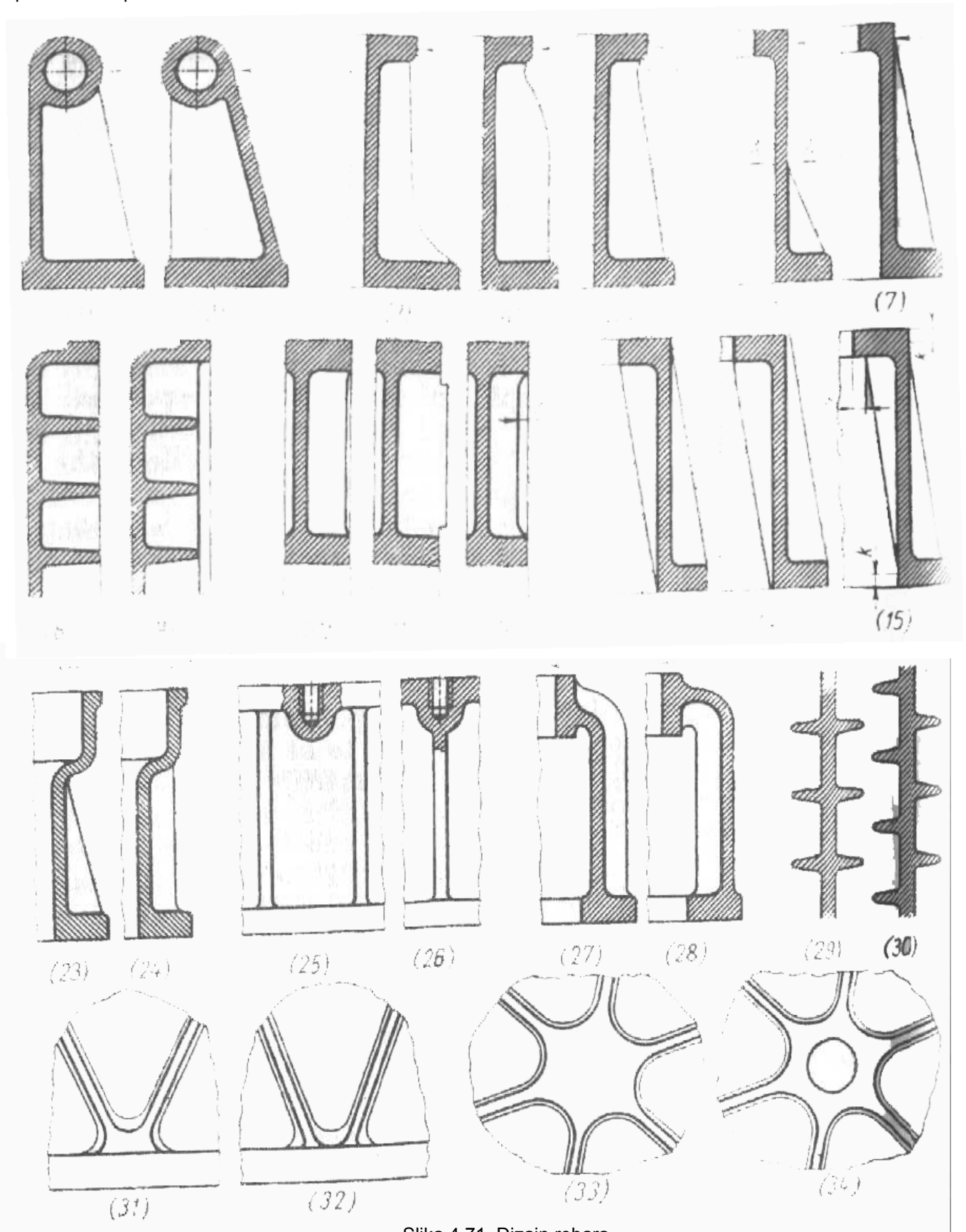
Kod obostrano postavljenih rebara treba ih postavljati po naizmeničnom rasporedu da bi se izbeglo lokalno nagolilavanje materijala i smanjili naponi od skupljanja. Akumulacije metala na mestima na kojima se rebra sastaju sa zidom treba izbegavati ime što će se rebra dublje postaviti u zid. Teški preseki kod kojih se nekoliko rebara sastaju na istom mestu treba olakšati rupama za olakšanje.

Kod delova izloženih nejednakom zagrevanju tokom rada, rebra podležu termičkim naponima. Ako su zidovi dela zagrejani više od rebara, pojaviće se zatezni naponi kao posledica. Rebra sa temperaturom većom od zidova su pritisnuta.

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:8
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

Termički naponi se efektno mogu smanjiti ukoliko se prava radijalna rebra zamene tangencijalnim, spiralnim ili eliptičnim.



Slika 4.71. Dizajn rebara

Student: EREMIĆ S. BEBIĆ D.	Broj indeksa 161/91; 27/90	Datum:	Pregledao:	Overio:
--------------------------------	-------------------------------	--------	------------	---------

MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU	Predmet: MAŠINE ALATKE	Zadatak br: List br:9
---------------------------------	---------------------------	--------------------------

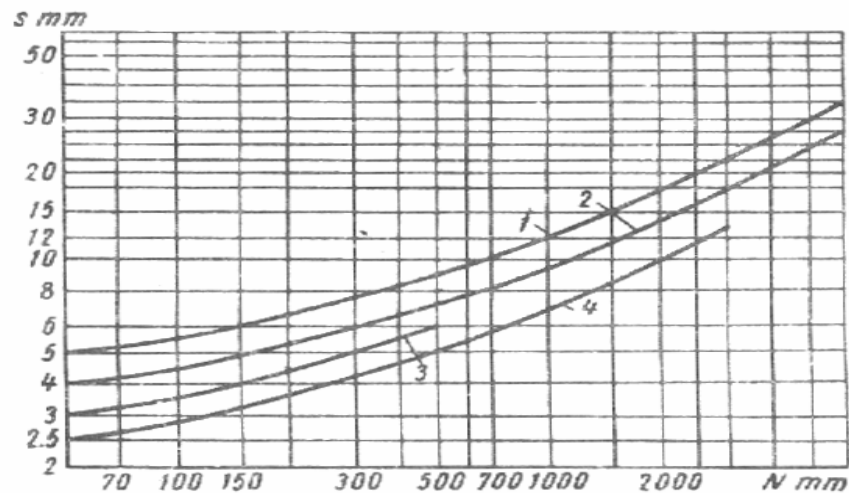
4.9 DEBLJINA ZIDOVA

Uopšteno je bolje koristiti zidove minimalne debljine zbog uslova livenja i čvrstoće dela. Na slici 4.8 prikazana je minimalna debljina zida S za različite legure za livenje, u zavisnosti od ukupne veličine dela koja se računa po formuli:

$$N = \frac{2L + b + h}{3}$$

gde je:

- L dužina dela u mm
- b širina dela u mm
- h visina dela u mm



Slika 4.8. Dijagram debljine zida
1-čelik; 2-sivo gvožđe; 3-bronza; 4- aluminijumske legure

Dijagram je nacrtan za spoljašnje zidove pri livenju u pešćanim kalupima za klasu tačnosti 2 i 3. Debljina unutrašnjih zidova i rebara je prosečno oko 20% manja. Dijagram se može koristiti samo za grube proračune debljine. Dozvoljena debljina zida zavisi mnogo od oblika odlivka. Komplikovani odlivci koji se liju uz pomoć nekoliko jezgara treba da imaju tanje zidove. tehnologija livenja je veoma bitna. Sastav kalupa i jezgara kao, uslovi punjenja i hlađenja kalupa itd. su od velikog uticaja.

Debljina zidova kod teško opterećenih delova (kreveti čekića, stubovi glodalica isl.) se određuju na osnovu veličine napadnog opterećenja i zahteva krutosti i uglavnom prevazilaze preporuke date u dijagramu na slici 4.8. Ipak i u ovakvim slučajevima preporučljivo je koristiti zidove minimalne debljine korišćenjem racionalnog oblika zidova i rebara, da bi se obezbedila potrebna čvrstoća i krutost.

Student:	Broj indeksa	Datum:	Pregledao:	Overio:
EREMIĆ S. BEBIĆ D.	161/91; 27/90			