

ljetovanja, jer nabavka i amortizacija opreme, plaćanje pristojbi i upotreba vozila gotovo nadmašuje troškove boravka u hotelima srednjih kategorija, a sigurno nadmašuje troškove u privatnom smještaju.

Uz šatore proširila se i upotreba kamp-prikolica (kuća na kotačima), različitih tipova i veličina. Prije drugoga svjetskog rata te su prikolicе bilo vrlo rijetke u Evropi, ali su bile dobro poznate u SAD, gdje u njima stalno živi oko 3000000 ljudi, čija zanimanja zahtijevaju neprestanu seobu (estradni umjetnici, trgovački putnici i sl.).

Organizirani kamp ili auto-kamp mora biti ograđen i čuvan prostor s kontroliranim ulazom kraj kojega se nalazi recepcija. Površine terena su vrlo različite: od jedne stambene parcele (400–600 m<sup>2</sup>) do vrlo velikih terena od nekoliko hektara. Optimalna je površina oko 3 ha, s tim da je prostor podijeljen u tri jedinice od po 1 ha, svaka sa svojim sanitarnim čvorom. Kapacitet kampa proračunava se na osnovi potrebe, od 100 m<sup>2</sup> po šatoru za prosječno 3 osobe. Tu su uračunati prostor za šator srednje veličine, pretprostor pod tendom, vanjski pretprostor i prostor za vozilo.

Sanitarni čvorovi imaju odvojene dijelove za osobnu toaletu, za pranje rublja i suđa. Prostori za osobnu toaletu podijeljeni su na muški i ženski dio, s odvojenim prostorima za WC, tuševе i umivaonike. Tuševi s toplom vodom u većim kampovima imaju automate za novac ili žeton (katkada su i besplatni), a u manjim kampovima postoje posebne kabine za tuširanje koje na zahtjev otvara čuvar. Prostori za pranje rublja i suđa ne moraju biti uz zgradu za osobnu toaletu, ali moraju biti odvojeni. U toplijim predjelima: to su obično otvoreni ili poluotvoreni natkriveni prostori.

Smještaj sanitarnih čvorova, pogotovo zahoda, mora biti diskretan, ali i uočljiv, povučen, ali ne skriven. Najveća udaljenost takva čvora ne bi smjela biti veća od 100 m od najudaljenijeg šatora.

Uređeniji i veći kampovi moraju imati trgovinu namirnica i najnužnijeg pribora za kampiranje, ured za informacije i mjenjačnicu, a često restoran, sportske terene, katkada (vrlo veliki kampovi) i bazen, liječnika i sl. Zbog bazena i sportsko-rekreacijske opreme, kampovi su često smješteni u krugu sportskih objekata ili sportsko-rekreacijskih centara, ili uz motele i turistička naselja. Radi stimulacije boravka, npr. u Francuskoj, dobro uređeni općinski kampovi smješteni su uz stadione u kojima je boravak često besplatan, pogotovo ako ta općina nije u turističkoj zoni.

Unutrašnji putovi za vozila u kampu moraju biti asfaltirani da se spriječi podizanje prašine, ali moraju izgledati kao pješački put; kretanje vozila u kampu dopušteno je korakom.

Ima pokušaja da se oblikuju živicom ograđeni prostori za smještaj šatora. Time se gubi mogućnost fleksibilnog iskorištavanja terena (ima, naime, šatora površine 2–30 m<sup>2</sup>), a osim toga kampisti vole slobodno birati mjesto za podizanje šatora.

Vozilo mora biti smješteno uz šator radi prijenosa opreme, a i zbog toga što je vozilo jedini prostor pod ključem.

U kampu ne smije biti visoka razina podzemne vode, a sastav tla mora biti takav da se klinovi mogu lako zabijati u zemlju, da ostanu relativno čvrsti i da se lagano vade. Nepovoljni su šljunčani i kameniti tereni i tereni s previše suhim i rastresitim pijeskom. Oštro kamenje može probiti dno šatora. Danas je zabranjeno kopati oko šatora odvodne jarke, jer svi šatori imaju prišiveno nepropusno dno, a tereni se moraju odvodnjavati. Ako ne postoji drenaža, koja se izvodi samo u vrlo temeljito uređenim kampovima, poželjan je blagi pad terena.

Budući da je kampiranje postala masovna pojava, nastala je potreba da se takav smještaj regulira zakonom i pravilnicima koji se odnose na ponašanje kampista, obveze onih koji osnivaju kampove ili njima upravljaju (pojedinci, kolektivi, poduzeća) te na mjere za zaštitu okoline.

Nacionalni touring-klubovi, planinarska društva, auto-moto-savezi i sl. udruženi su u Međunarodni savez za kampiranje (Fédération Internationale du Camping), a njihovi članovi imaju popust u nekim posebnim kampovima, a katkada imaju i jedini pravo kampiranja u tim kampovima.

Kampovi imaju prednost pred hotelima jer traže male investicije i jer se vrlo brzo amortiziraju. Oni su, prema tome, neobično pogodan oblik smještaja u početnim fazama razvitka turizma u nekom predjelu. Mogu se lako seliti te ne stvaraju posebni problem za uređenje gradova. No ne smije se misliti da kampiranje ne ugrožava prirodu: mediteranske šume četinarska vrlo su osjetljive na dulju prisutnost čovjeka ispod stabala pa se ne bi smjele iskorištavati za kampove. Kampove bi trebalo smještati uz rub šume, a gole terene treba pošumljavati za potrebe turizma. Maslinici (ako su napušteni) ili šume sredozemnog hrasta manje su osjetljivi.

LIT.: F. Geigant, Die Standorte des Fremdenverkehrs. Fakultät Ludwig-Maximilian, München 1962. — L. Burnet, Villégiature et tourisme sur les côtes de France. Hachette, Paris 1963. — H. Todt, Über die räumliche Ordnung von Reisezielen. Universität J. W. Goethe, Frankfurt 1965. — P. Defert, La localisation touristique — Problèmes théoriques et pratiques. Ed. Gurten, Bern 1966. — Clare A. Gumm, Vacationscape — designing tourist regions. Bureau of Business Research. The University of Texas, Austin 1972. — Burkart & Medlik (eds.), Tourism—past, present and future, Heinemann, London 1974. — Faye, Tournaire, Godard, Sites et sitologie. Ed. Pauvert, Paris 1974. — Burkart & Medlik (eds.), The management of tourism. Heinemann, London 1975. — Baud-Bovy, Fred Lowson, Tourism and recreation development. The Architectural Press Ltd., London 1977. — W. Adie Donald, Marinas. The Architectural Press Ltd., London 1977.

A. Marinović-Uzelac

**LJEVARSKE SLITINE**, zajednički naziv za legirane materijale od kojih se izrađuju odljevci (v. *Ljevarstvo*). Lijevanjem se mogu oblikovati metalne i nemetalne tvari. U ovom su članku obrađene slitine metala, u prvom redu ljevovi na osnovi željeza.

Svojstva ljevova na osnovi željeza ovise o postotku sadržanog ugljika, ali i o siliciju, manganu, fosforu i sumporu sadržanom u slitini. Slitine se željeza razvrstavaju na čelične ljeveve i na sive, bijele, kovkaste i posebne ljeveve. Čelični ljevovi jesu slitine željeza sa sadržajem ugljika do 2%; u njima nema eutektika. Sivi ljevovi su slitine željeza i ugljika (s više od 2% C) koje sadrže eutektičku fazu (materijal homogene sitnozrnate strukture), a u kojima se ugljik izlučuje kao grafit. U bijelom lijevu ugljik je kemijski vezan sa željezom u tzv. cementit (Fe<sub>3</sub>C). Bijeli ljevovi koji se naknadnim žarenjem razugljiče ili u kojima se postiže raspadanje cementita zovu se kovkasti ili temperirani ljevovi.

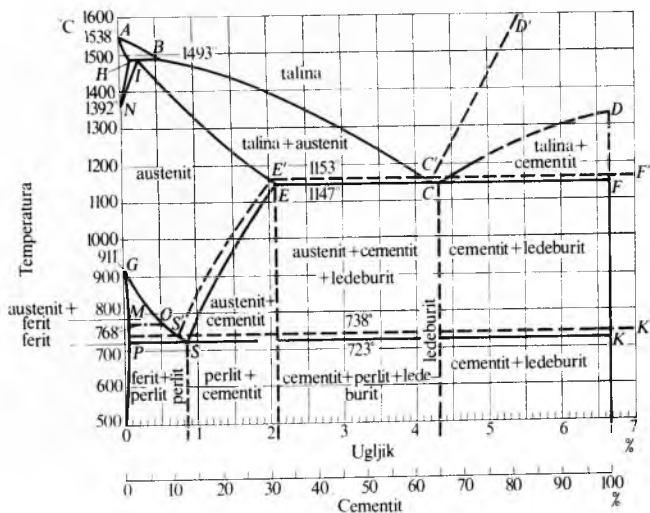
Slitine kojima sastav nije na osnovi željeza mogu se svrstati na teške i lake metale. Teški metali su slitine bakra, cinka i olova s drugim legirnim elementima, dok se u lake metale ubrajaju slitine aluminija i magnezija.

## SIVI I BIJELI LIJEV

Slitine željezo—ugljik vrlo su važni metali za različite tehničke primjene. Sastoje se većinom s više od 90% Fe i od 0,1–4% C, a sadrže i različite količine silicija, mangana, fosfora i sumpora. Područje slitina željezo—ugljik obuhvaća gotovo cijeli dijagram Fe—C (sl. 1).

Dijagram sljevanja Fe—C pokazuje kako se pri promjenama temperature mijenja struktura slitine željezo—ugljik s različitim sadržajem (0–7%) ugljika. Iz dijagrama se također vidi kako sadržaj ugljika utječe na temperaturu pri kojoj nema krutine (likvidus-linija A, B, C, D) i na temperaturi pri kojoj se završava skrućivanje (solidus-linija A, H, I, E, C, F). Detaljniji opis dijagrama v. Čelik, TE 3, str. 49 i v. *Metalografija*.

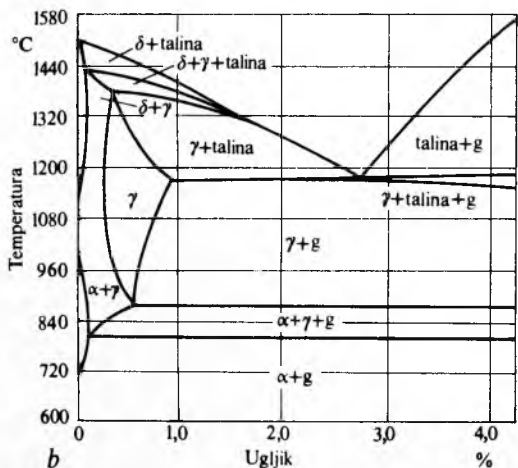
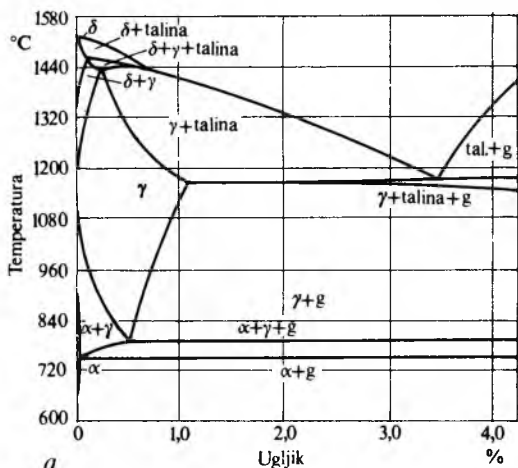
Prema sadržaju ugljika slitine željeza mogu biti slitine koje se skrućuju bez eutektika (čelići) i slitine s eutektikom (sivi i bijeli lijev). U dijagramu Fe—C ta granica leži pri 2% C. Pod utjecajem nekih elemenata, osobito silicija, ta se granica može pomaknuti ulijevo. Željezne slitine s eutektikom mogu se skrutiti po stabilnom sustavu Fe—C, što znači da se ugljik izluči u obliku grafita (eutektik: austenit—grafit), a mogu se skrutiti i po metastabilnom sustavu (Fe—Fe<sub>3</sub>C) ako je ugljik kemijski vezan za željezo kao metastabilni (termički nepostojan) ledeburit Fe<sub>3</sub>C (ledeburitni eutektik). U slitinama s ledeburitnim



Sl. 1. Dijagram stanja željezo-ugljik

eutektikom može se naknadnom termičkom obradom postići raspadanje ledeburita i izlučivanje grafita. Lijevano se gvožđe svrstava prema izgledu prijeloma ili prema svojstvima na sivi, bijeli, kovkasti, tvrdi i melirani lijev.

**Sastav i struktura sivog i bijelog lijeva.** U lijevanom gvožđu ima osim željeza i ugljika, još i silicija, mangana, fosfora i sumpora. Sastav sivog i bijelog lijeva može se mijenjati u sljedećim granicama: 2,0...4,5% C, 0,5...3,5% Si, do 1,3% Mn, do 1% P i 0,06...0,15% S. Za taj je lijev karakterističan visoki postotak ugljika koji se izlučuje kao grafit ili je vezan u



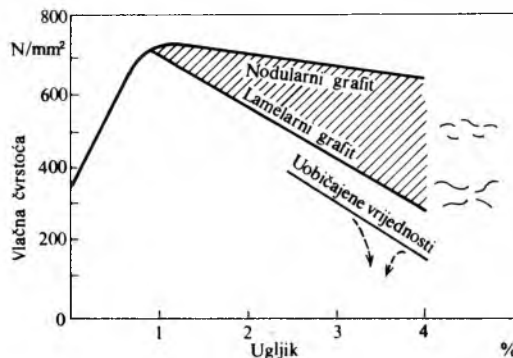
Sl. 2. Isječak iz ternarnog dijagrama Fe-C-Si. a za 2,4% Si, b za 4,8% Si

Fe<sub>3</sub>C. U sivom se lijevu nalaze strukture sastavljene od faza (homogenih područja mikrostrukture koje pripadaju pojedinim tvarima ili heterogenim sustavima) po stabilnom i metastabilnom sustvu (ferit, cementit, grafit, perlit).

Budući da na strukturu lijeva utječu i ostali elementi, osobito silicij, to je za tumačenje strukture prikladniji ternarni dijagram Fe—C—Si. Na sl. 2 prikazan je isječak iz tog dijagrama za 2,4% i 4,8% silicija. Vidi se da silicij pomiče linije dijagrama prema lijevoj strani. Povećanjem dodatka silicija povećava se i temperaturni interval eutektoida (struktura slična eutektiku, a nastala je raspadom čvrste faze).

**Utjecaj osnovnih elemenata na strukturu.** Ugljik najviše utječe na svojstva sivog i bijelog lijeva. Pojavljuje se u dva oblika koji daju slitini oprečna svojstva. Vezan kao cementit Fe<sub>3</sub>C ugljik povećava tvrdoću lijeva i otežava obradu. U slobodnom se obliku ugljik izlučuje iz slitine kao grafit, i to za vrijeme skrućivanja ili pri njenom žarenju (temperiranju), pa se time postiže bolja obradljivost i veća sposobnost prigušivanja vibracija. Na izlučivanje grafita utječu kemijski sastav, način skrućivanja i obrada litine. Važna je i količina ugljika i silicija u talini. Što je ta količina veća, to se više izlučuje grafita, i veći su grafitni listići. U osnovnoj strukturi grafit je strano tijelo minimalne čvrstoće (20 N/mm<sup>2</sup>) i tvrdoće. Grafitni listići presijecaju osnovni čelični lijev i imaju zarezno djelovanje. Što ima više listića i što su oni grublji, to su i mehanička svojstva lijeva lošija. Tehničko čisto željezo ima čvrstoću 250–400 N/mm<sup>2</sup>. Čvrstoća raste s količinom ugljika i postiže najveću vrijednost pri eutektoidnom sastavu (800 N/mm<sup>2</sup>). Poslije toga, daljim porastom ugljika, čvrstoća polagano opada.

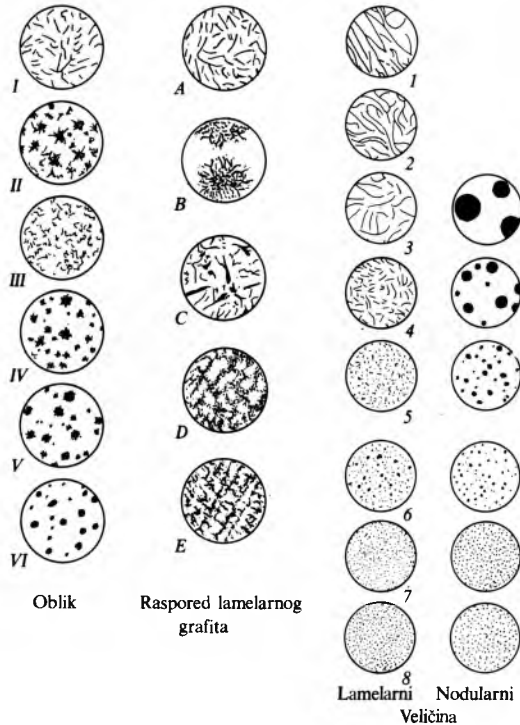
Sivi lijev sa 3% ugljika trebao bi imati vlačnu čvrstoću 700 N/mm<sup>2</sup> (sl. 3). Stvarna je (vlačna) čvrstoća, međutim, manja (120...300 N/mm<sup>2</sup>), jer se zbog različite veličine grafita i njegovog neravnomjernog rasporeda smanjuje nosivi presjek. Zato čvrstoća sivog lijeva ovisi više o količini i obliku grafita nego o osnovnoj strukturi. Pri jednakoj količini ugljika i pri jednakom udjelu grafita sivi lijev može imati različita mehanička i fizikalna svojstva. Do tih razlika dolazi zbog različitih oblika grafita, njegove raspodjele i veličine.



Sl. 3. Utjecaj oblika i rasporeda grafita na vlačnu čvrstoću sivog lijeva

Grafit se ocjenjuje prema obliku, rasporedu i veličini (sl. 4). On može imati lamelaran (lisnat), kugličast ili čvorast oblik. Lamelarni grafiti svrstavaju se prema rasporedu u 5 klasa (A do E); tip A ima jednoličan raspored, u tipu B grafit ima oblik gnijezda (rozeta), tip C je nadeutektički, a tipovi D i E su pothlađeni. Prema veličini grafiti čine 8 klasa. U klasu 1 idu grafitni listići koji su pri 100-kratnom povećanju veći od 100 mm, a u klasu 8 listići veći od 1,5 mm. Pri promatranju dvodimenzionalne projekcije grafita izgleda da je svaka lamela samostalna i odvojena od susjednih lamela. Tek trodimenzionalnim promatranjem grafita (koje je omogućeno npr. dubokim nagrizanjem) može se utvrditi da su lamele međusobno srasčene i da su izrasle iz zajedničkog središta. U novijoj se literaturi navodi upravo razgranatost kao mjerilo za grafit i njegov utjecaj, a ne više veličina grafita u lijevu. Količina eutektičkog grafita utječe na iznos stezanja pri hlađenju litine,

odnosno na veličinu slijevanja. Povećanjem količine eutektičkog grafitu smanjuje se veličina slijevanja.



Sl. 4. Klasifikacija grafitu prema obliku, rasporedu i veličini

Silicij je uz ugljik najvažniji element u slitini, jer smanjuje topljivost ugljika i potiskuje linije  $C'$   $D'$  i  $S'$   $E'$  u dijagramu Fe—C ulijevo (sl. 2). Takvo se djelovanje silicija označuje pomoću ekvivalenta ugljika:

$$C_{ekv} = C + \frac{Si}{3}. \quad (1)$$

Sličan je izraz kojim se uzima u obzir i utjecaj fosfora:

$$C_{ekv} = C + \frac{Si}{3} + \frac{P}{3}. \quad (2)$$

Eutektička količina ugljika iznosi u slitinama Fe—C—Si:

$$C_{eu} = 4,26 - \frac{1}{3}Si. \quad (3)$$

U jednadžbama (1), (2) i (3) su  $C_{ekv}$ ,  $C_{eu}$ ,  $C$ ,  $Si$  i  $P$  izraženi u postocima.

Mangana ima u litini 0,4...1,4%. Mangan smanjuje u litini sumpor i stabilizira cementit. S ugljikom se vezuje u stabilan karbid  $Mn_3C$  koji sa  $Fe_3C$  stvara kompleksan spoj, pa prema tome otežava raspadanje cementita. Mangan vezuje sumpor u  $MnS$  koji ne pogoršava mehanička svojstva lijeva.

Fosfor može biti otopljen u željezu  $Fe(P)$  ili se s njime vezuje u krhak željezni fosfid  $Fe_3P$ . U litini stvara s krutom otopinom  $Fe(P)$  dvostruki ili sa  $Fe(P)$  i sa  $Fe_3C$  trostruki eutektik pri 950 °C. Dodatak fosfora smanjuje žilavost, odljevci postaju krhki, a povećava se i njihova tvrdoća. Fosfor izvanredno povećava livljivost litine.

Sumpor se nalazi u litini bilo u obliku  $FeS$  (ako je sadržaj mangana malen) bilo kao  $MnS$ . U željezu se praktički ne otapa. U obliku željeznog sulfida  $FeS$  lako sa željezom stvara eutektik pri 987 °C sa 31% S.

**Stupanj zasićenosti i strukturni dijagrami.** Za ocjenu utjecaja kemijskog sastava primjenjuje se omjer između stvarne količine ugljika i eutektičke koncentracije ugljika (4,26%). Taj se omjer zove stupanj zasićenosti litine  $S_c$ . U tehničkim se slitinama eutektička točka pomiče pod utjecajem dodatnih elemenata. Osobito je važno djelovanje silicija koji pomiče eutektičku

točku prema lijevoj strani dijagrama slijevanja. Stupanj zasićenosti litine silicijem iznosi:

$$S_c = \frac{C}{4,26 - \frac{Si}{3,2}}. \quad (4)$$

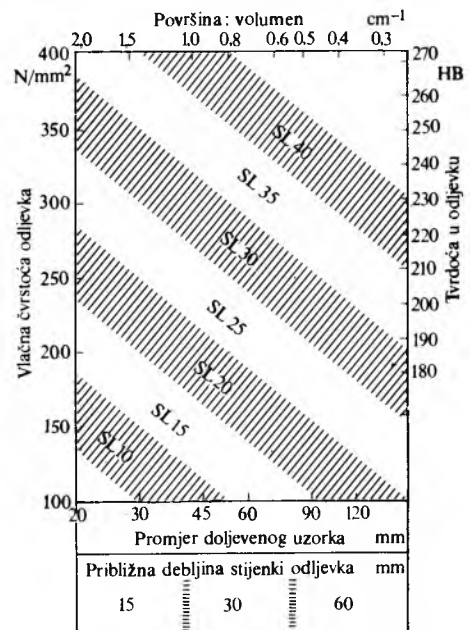
Fosfor djeluje slično kao silicij, pa i on pomiče eutektičku točku te je:

$$S_c = \frac{C}{4,26 - \frac{Si + P}{3,2}}. \quad (5)$$

U jednadžbama (4) i (5) količine  $C$ ,  $Si$  i  $P$  izražene su u postocima. Lijevano gvožđe eutektičkog sastava ima stupanj zasićenosti  $S_c = 1$ , podeutektičko gvožđe  $S_c < 1$ , a gvožđe nadeutektičkog sastava  $S_c > 1$ . Što je stupanj zasićenosti manji, to je temperatura taljenja viša i čvrstoća lijeva veća. S povećanjem stupnja zasićenosti pogoršavaju se mehanička svojstva lijeva, jer vlačna čvrstoća iznosi

$$\sigma_m = 1020 - 825 S_c \text{ (u N/mm}^2\text{)}. \quad (6)$$

**Utjecaj brzine hlađenja i debljine stijenki.** Različitim brzinom hlađenja postiže se, pri istom sastavu litine, različito oblikovanje grafitu i osnovne strukture lijeva. Pri istom sastavu, odljevak s tankim stijenkama brže se hladi, pa će više ugljika biti vezano na cementit, dok se u debelim stijenkama, zbog sporijeg hlađenja, izlučuje više grafitu. Dešava se da se u istom odljevku, kao posljedica različitih debljina stijenki, pojavljuju različite strukture, što uzrokuje i različita mehanička svojstva, različito stezanje i unutrašnje napetosti zbog kojih se odljevak može deformirati ili može čak puknuti. Utjecaj debljine stijenki na mehanička svojstva ljevova prikazao je A. Collaud dijagramom, sl. 5. Pomoću tog dijagrama mogu se ocijeniti mehanička svojstva odljevaka s različitom debljinom stijenki na osnovi zasebno odlivenog pokusnog uzorka (epruvete) promjera 30 mm. Te podatke uzimaju u obzir i propisi normi.



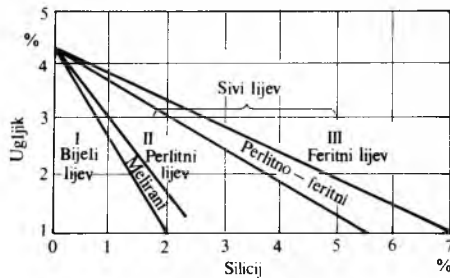
Sl. 5. Vlačna čvrstoća i tvrdoća sivog lijeva prema debljini stijenke odljevka za SL10...40

**Utjecaj temperature taljenja.** Na broj klica (središta kristalizacije), a time i na rast grafitu u litini, može se najlakše utjecati pregrijavanjem. Povišenjem temperature litine smanjuje se broj klica. Iz dobivenih se rezultata vidi da se s višom temperaturom taljenja povećava sklonost prema bijelom skrućivanju, smanjuje broj klica, a povećava veličina zrna. Isti učinak kao s visokom temperaturom pregrijavanja postiže se

također ako se litina održava dulje vremena na nešto nižoj temperaturi (Hanemannov efekt).

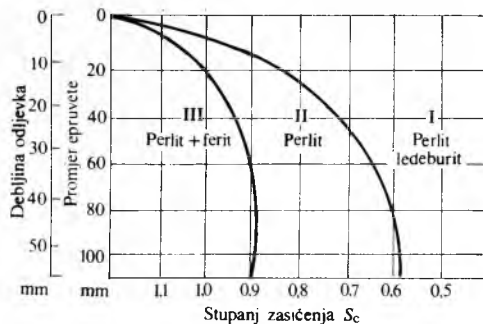
**Strukturni dijagrami.** Na mehanička svojstva sivog lijeva utječu kemijski sastav, brzina hlađenja i stvaranje klica (tj. pregrijavanje, troska i dr.). Kemijski sastav koji treba odabrati da bi se u odljegovima određene mase, odnosno uz određenu brzinu hlađenja, postigla tražena struktura određuje se izrazom za stupanj zasićenosti i pomoću strukturnih dijagrama.

E. Maurer je 1924. objavio svoj dijagram za sivi lijev (sl. 6). Taj dijagram uzima u obzir djelovanje ugljika i silicija na strukturu lijeva, a sastavljen je na osnovi metalografskih istraživanja i izraden za brzinu hlađenja lijeva u suhom kalupu i za epruvetu promjera 30 mm.



Sl. 6. Strukturni dijagram sivog lijeva prema Maureru

E. Sipp je dopunio strukturne dijagrame tako da je na os apscisa nanió stupanj zasićenosti  $S_c$ , a na os ordinata debljinu odljevka, odnosno promjer epruvete (sl. 7). Time je u dijagramu uzeo u obzir kemijski sastav i različitu brzinu hlađenja. Sippovi dijagrami pokazuju kakav mora biti omjer između ugljika i silicija, odnosno ostalih elemenata, da bi se pri određenoj debljini stijenke, tj. pri određenoj brzini hlađenja, postigla željena struktura i čvrstoća lijeva.



Sl. 7. Strukturni dijagram sivog lijeva prema Sippu

H. Laplanche je u svom dijagramu (sl. 8) uzeo u obzir i sklonost grafitizaciji  $K$  pojedinih slitina s obzirom na kemijski sastav, i to za epruvetu promjera 30 mm:

$$K = \frac{4}{3} \text{Si} \left( 1 - \frac{5}{3C + \text{Si}} \right), \quad (7)$$

gdje su  $C$  i  $\text{Si}$  izraženi u postocima. Slitine s jednakim iznosom  $K$  imaju jednaku sklonost grafitizaciji i sličnu strukturu. U dijagramu su crtkano uctane i linije jednakog stupnja zasićenosti  $S_c$ . Svaki je lijev u dijagramu okarakteriziran sa dva podatka:  $K$  i  $S_c$ .  $K$  određuje položaj s obzirom na eutektičku točku te posredno i svojstvo taline da dobro teče i sklonost stvaranju lunquera.

Mehanička svojstva sivog lijeva ovise o količini, obliku i rasporedu grafita te o osnovnoj strukturi. Na izlučivanje grafita utječu kemijska svojstva litine, stanje klica u litini i brzina hlađenja. Za određivanje svojstava koja se odnose na čvrstoću lijeva propisani su posebni uzorci, koji su obično doliveni uz odljevak tako da se hlade u istim uvjetima. Ako je uzorak odliven zasebno, mora debljina pokusnog uzorka biti jednaka glavnim presjecima odljevka, odnosno ta je debljina propisana za određena područja debljina stijenki.

Vlačna čvrstoća sivog lijeva manje ovisi o osnovnoj strukturi, a više o obliku grafita. Tehničko čisto željezo (feritna osnovna masa) ima vlačnu čvrstoću 250...400 N/mm<sup>2</sup>, a perlit (smjesa ferita i cementita) čak 800 N/mm<sup>2</sup>. Grafitni listići imaju zarezno djelovanje, što smanjuje vlačnu čvrstoću. Istezanje je sivog lijeva s lamelarnim grafitom neznatno, tako da se rijetko određuje. U feritnom lijevu s finim grafitom istezanje je veće nego u perlitnom lijevu, ali u oba slučaja ne prelazi 0,5%.

Vlačna čvrstoća može se procijeniti i pomoću stupnja zasićenosti  $S_c$ :

$$\sigma'_m = 1020 - 825 S_c \quad (\text{u N/mm}^2). \quad (8)$$

Iz jednadžbe (8) vidi se da se s povećanjem stupnja zasićenosti smanjuje vlačna čvrstoća. Izračunata vlačna čvrstoća  $\sigma'_m$  služi za ocjenu stupnja kvalitete izradbe. Omjer stvarne čvrstoće  $\sigma_m$  i izračunate čvrstoće  $\sigma'_m$  označuje se kao stupanj kvalitete izradbe:

$$S_{KI} = \frac{\sigma_m}{\sigma'_m} = \frac{\sigma_m}{1020 - 825 S_c} 100\%. \quad (9)$$

Ako čvrstoća lijeva odgovara uvjetu  $\sigma_m = \sigma'_m$ , kaže se da je stupanj kvalitete izradbe 100%. U praksi stupanj kvalitete izradbe iznosi 80...120%.

Na tvrdoću lijeva utječe manje oblik grafita, a više osnovna struktura i raspodjela grafita. S povećanjem postotka cementita raste tvrdoća lijeva. Tvrdoća sivog lijeva treba prema propisima iznositi 120...200 HB, a za kvalitetne ljevove do 250 HB (tvrdoće po Brinellu). Tvrdoća sivog lijeva može se odrediti i računski pomoću vlačne čvrstoće prema jednadžbi:

$$HB' = 1000 + 0,43 \sigma_m, \quad (10)$$

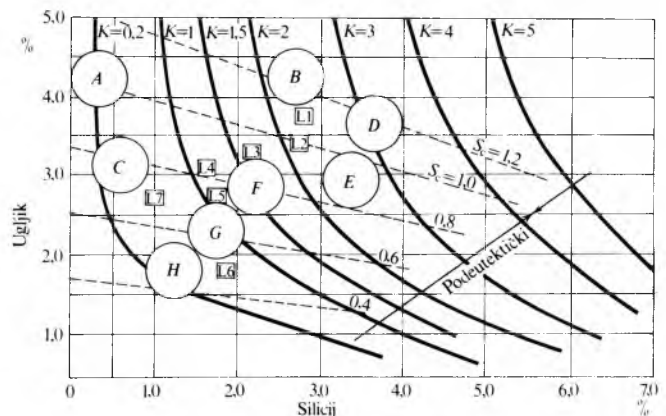
gdje su  $HB'$  i  $\sigma_m$  izraženi u N/mm<sup>2</sup>. Omjer između stvarne tvrdoće  $HB$  i izračunate tvrdoće  $HB'$  zove se relativna tvrdoća  $RT$ , koja iznosi:

$$RT = \frac{HB}{1000 + 0,43 \sigma_m} 100\%. \quad (11)$$

Relativna tvrdoća, već prema kvaliteti lijeva, jest 80...120%.

Tlačna čvrstoća sivog lijeva 3...6 puta je veća od vlačne čvrstoće, dok čelik ima te obje čvrstoće približno jednake. Jedna od odlika sivog lijeva jest velika tlačna čvrstoća. Zato se sivi lijev u prvom redu upotrebljava na mjestima veoma opterećenim na tlak, ali se ne smije opteretiti na savijanje.

Čvrstoća na savijanje ispituje se radi određivanja žilavosti materijala. U tu se svrhu epruveta promjera 30 mm, poduprta u dvije točke razmaknute 600 mm, polagano i postepeno opterećuje do loma. Progib pokusne šipke u trenutku pojave napuklina zove se progib prije loma ( $f$ ). Čvrstoća na savijanje i progib  $f$  nisu ni u kakvoj vezi. Tako npr. perlitni lijev



Sl. 8. Strukturni dijagram sivog lijeva prema Laplancheu.  $K$  sklonost prema grafitizaciji,  $S_c$  stupanj zasićenosti, L1 lijev za klipne prstene, L2 strojni lijev, L3...L5 kvalitetni strojni lijev, L6 kovkasti lijev, L7 crni kovkasti lijev; A ledeburit,  $S_c = 1$ ; B ferit-perlit-grafit,  $S_c > 1$ ; C ledeburit-perlit,  $S_c < 1$ ; D ferit-grafit,  $S_c > 1$ ; E ferit-perlit-grafit,  $S_c < 1$ ; F perlit-grafit,  $S_c < 1$ ; G perlit-ferit-grafit,  $S_c < 1$ ; H ledeburit-perlit,  $S_c < 1$

ima obje vrijednosti velike, dok feritni lijev ima progib  $f$  velik, a malenu čvrstoću na savijanje. Modul elastičnosti važan je za ponašanje lijeva prije granice loma. Za sivi lijev modul elastičnosti raste s kvalitetom lijeva, pa za loše vrste lijeva više ovisi o opterećenju nego za kvalitetni lijev. Sivi se lijev ne ponaša prema Hookeovu zakonu; modul elastičnosti sivog lijeva opada s porastom opterećenja. Pri tlačnom opterećenju također nastaju razlike ovisne o kvaliteti lijeva, ali modul elastičnosti nije ovisan o iznosu tlačnog opterećenja.

Svojtvo prigušivanja titraja (vibracija) jest sposobnost lijeva da apsorbira promjenu opterećenja. To je svojstvo proporcionalno količini grafita i veličini grafitnih listića u sivom lijevu. Lijevo s velikim grafitnim lamelama (i manjom čvrstoćom) ima veću sposobnost prigušivanja nego lijev sa sitnim grafitom. Zbog tog se svojstva sivi lijev upotrebljava za izradbu kućišta strojeva, ploča za fundamente, ležaje i sl. Ako se za čelik, sivi lijev i žilavi lijev usporede krivulje njihove sposobnosti prigušenja titraja, dobije se odnos 1:1,8:4,3.

**Vrste sivog lijeva.** Sivi se lijev dobiva taljenjem sirovog gvožđa uz dodatke lomljevine, kružnog lijeva, čeličnih otpadaka i posebnih dodataka. Ulijeva se u kalupe i obično se zatim termički ne obrađuje. Sivi lijev sadrži više od 2% ugljika, koji je djelomično u obliku grafita (60...90%), a djelomično je vezan sa željezom u  $Fe_3C$ . Sivi lijev prema obliku grafita i svojim svojstvima može biti lijev s lamelarnim grafitom i lijev s kugličastim grafitom.

Sivi lijev s lamelarnim grafitom služi za različite namjene. Ako se upotrijebi kao građevni, trgovački ili umjetnički lijev, npr. za izradbu stupova, podložnih ploča, peći, radijatora, glačala, kipova, reljefa i sl., tada njegova svojstva čvrstoće nisu propisana. Ali, ako služi kao strojni lijev za izradbu različitih dijelova strojeva, tada njegova svojstva propisuju JUS C.J2.020. Upotrebljava se kao kvalitetan lijev za konstrukcijske elemente s poboljšanim svojstvima (npr. s većom čvrstoćom, žilavošću i moći prigušivanja) i kao legirani lijev koji služi za izradbu konstrukcijskih elemenata posebnih svojstava (npr. otpornost koroziji, vatri i habanju).

**Sivi lijev s lamelarnim grafitom.** Za građevni i trgovački lijev nisu propisana svojstva čvrstoće, ali se zahtijeva da dobro teče, da popuni kalup i da se daje obrađivati. Sastav tog lijeva ovisi o vrsti odljevka.

**Strojni lijev.** Strojogradnja je najveći potrošač sivog lijeva. Da bi sivi lijev odgovarao zahtjevima gradnje strojeva, on mora ispunjavati opće uvjete i mora posjedovati svojstva koja traži konstruktor. Odljevci moraju biti obradljivi, a njihove mjere moraju odgovarati nacrtima. Propisi JUS C.J2.020 razvrstavaju strojni lijev, s obzirom na svojstva čvrstoće odvojeno odlivene standardne epruvete  $\varnothing 30$ , na 7 vrsta: SL 10, SL 15, SL 20, SL 25, SL 30, SL 35 i SL 40. Mehanička svojstva epruvete odlivene odvojeno nisu uvijek jednaka svojstvima čvrstoće odljevka od istog materijala (sl. 9). Da bi se postigla propisana svojstva i propisana struktura te da se ne pređe eutektički sastav, treba zasip izračunati pomoću izraza za stupanj zasićenosti. Stupanj zasićenosti treba da iznosi 0,83...0,9, tj. da litina bude podeutektička.

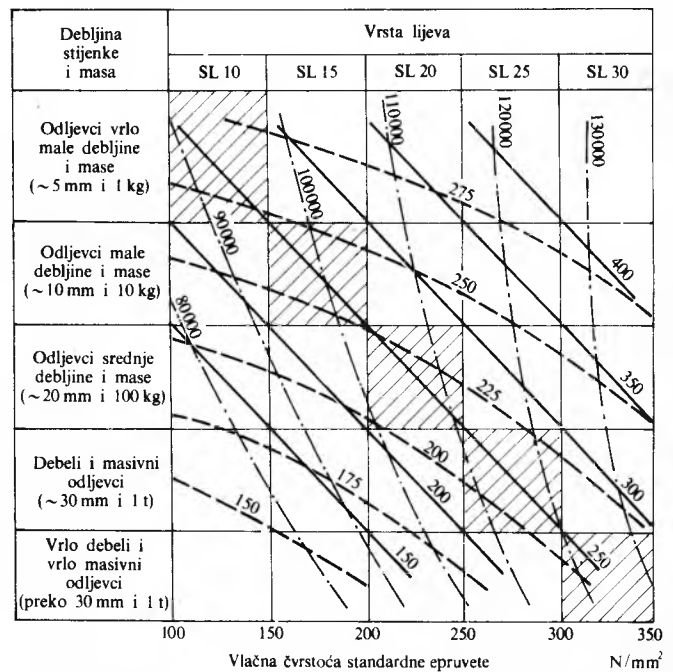
Kvalitetan cijepljeni lijev nije legiran, ima uobičajeni kemijski sastav i sadrži manje ugljika, pa ima bolja mehanička svojstva: čvrstoću iznad  $300 N/mm^2$ , dobru otpornost prema trošenju, smanjeni utjecaj debljine stijenke, dobru obradljivost, dobru moć prigušivanja titraja i postojanost. Kvalitetna se litina dobiva postupkom taljenja uz dodatno cijepljenje (modificiranjem, stoga se javlja i naziv modificirani lijev). Cijepljenje litina s malo ugljika ne utječe samo na gustoću strukture već i na oblik grafita i na mehanička svojstva lijeva. Dodavanjem cjepiva litina se dezoksidira i modificira (unose se klice kristalizacije). Kao cjepivo primjenjuje se u prvom redu fero-silicij i kalcij-silicij. Proizvodnja kvalitetnog lijeva s malo ugljika otežana je zbog sklonosti prema bijelom skrućivanju i pothlađivanju. Kao posljedica nagomilava se grafit oko austenitnih zrna, što smanjuje čvrstoću odljevka. Ta se poteškoća najlakše svladava modificiranjem litine pomoću dodataka. Pri modificiranju mijenja se struktura lijeva, a da se pri tom njegov kemijski sastav bitno ne izmijeni. Litine s malim sadr-

žajem ugljika i silicija cijepje se radi smanjenja utjecaja debljine stijenke, radi smanjenja sklonosti prema bijelom skrućivanju i radi sprečavanja pothlađivanja. Struktura modificiranog lijeva ravnomjerna je na cijelom presjeku odljevka.

Metoda modificiranja sastoji se u tome da se litini s malo ugljika i malo silicija (C 2,8...3,2%, Si 1...1,5%), koja bi se normalno skrutila kao bijeli ili melirani lijev, dodaju tvari koje služe kao klice i pospješuju izlučivanje grafita. Dodatak tih modifikatora iznosi 0,2...0,8%. Ta količina ne mijenja bitno kemijski sastav, ali veoma mijenja strukturu odljevka i njegova mehanička svojstva. Modificirana litina praktički ne sadrži cementit, već samo perlitnu strukturu. Pri dodavanju modifikatora treba misliti da oni uzrokuju raspadanje cementita. Prevelikom dodatkom modifikatora ne postize se samo raspadanje slobodnog cementita već i cementita unutar perlita, što uzrokuje smanjenje čvrstoće lijeva. Dakle treba odrediti najbolji dodatak modifikatora, uzimajući pri tom u obzir i odgor (gubitak) elemenata. Normalno se za modificiranje upotrebljava CaSi, FeSi (90%),  $CaC_2$  (60% Ca). Modifikatore treba smrviti da veličina zrnca bude 0,75...2,5 mm. Radi uspješnog modificiranja litina mora biti vruća, ali ne smije doći do redukcije  $SiO_2$  ugljikom. Postotak ugljika ne smije biti veći od 3,2%.

Najpoznatija je metoda modificiranja tzv. Meehanite-postupak, koji upotrebljava kao modifikator silicij-kalcij (Ca 33...35%, Si 60...65%, Fe manje od 3%). U praksi se primjenjuje više vrsta Meehanite-modificiranih lijeva. Vlačna čvrstoća modificiranog lijeva samo je neznatno ovisna o debljini stijenke.

**Žilavi lijev** (sivi lijev s kugličastim grafitom, nodularni lijev). Mehanička svojstva tog lijeva ovisu u prvom redu o obliku grafita. Pri kugličastom obliku grafita nema zarezno djelovanje u osnovnoj strukturi lijeva. Sivi se lijev s grafitom kugličasta oblika prema svojim svojstvima nalazi između sivog i čeličnog lijeva. Postupak proizvodnje žilavog lijeva ima dvije faze. Prvo se dodaje magnezij (rjeđe cerij ili kalcij) da se litina dezoksidira, a zatim se dodatkom cjepiva na osnovi silicija ubacuju u litinu klice kristalizacije, što sprečava bijelo skrućivanje. Zato grafit izlučen u litini ima kugličast oblik. Lijevo s kugličastim grafitom dobiva se od podeutektičke ili nadeutektičke litine sastava 3...3,9% C, 1,7...2,8% Si, 0,1...0,5% Mn, manje od 0,08% P i manje od 0,01% S. Zbog ekonomskih razloga litina smije sadržavati samo manje količine sumpora i kisika.



Sl. 9. Collaudov dijagram za određivanje mehaničkih svojstava odljevaka od sivog lijeva različite vrste, u ovisnosti o vlačnoj čvrstoći odvojeno odlivene standardne epruvete promjera 30 mm. a vlačna čvrstoća u  $N/mm^2$ , b tvrdoća prema Brinellu u  $N/mm^2$ , c modul elastičnosti u  $N/mm^2$  (određen ispitivanjem na savijanje). Isprugano područje predstavlja pretežno perlitnu mikrostrukturu s grafitom pretežno tipa A



Magnezij, cerij i kalcij su dezoksidanti, i oni smanjuju sumpor, ali se time gubi i cjepivo. Da se smanji sadržaj sumpora, taljenje se provodi u bazičnim kupolnim pećima ili električnim pećima. Uložak za peć ne smije sadržavati nepoželjne primjese, a osobito ne elemente Ti, Pb, Se, Al, Te, As, Sn i Sb, koji sprečavaju stvaranje grafitnih kuglica i pogoršavaju mehanička svojstva lijeva. Nepoželjno djelovanje nabrojanih elemenata može se smanjiti dodatkom slitina cerija (0,01...0,02%) koje se dodaju s magnezijem.

Tražena svojstva nežarenog nodularnog lijeva postižu se jedino ako u litini ima malo mangana. Količina ledeburita ovisna je o siliciju, manganu i brzini hlađenja. Na svojstva žarenog lijeva utječe se prikladnom termičkom obradom, jer su mehanička svojstva lijeva više ovisna o strukturi, a manje o grafitu. Svojstva žilavog (nodularnog) lijeva propisuje JUS C.J2.022, i to za: NL 38, NL 42, NL 50, NL 60 i NL 70, s vlačnom čvrstoćom 380...700 N/mm<sup>2</sup> i istezanjem 17...2%.

Toplinskom obradom žilavog lijeva uklanjaju se unutrašnje napetosti, mijenja se količina vezanog grafita, a struktura se poboljša i učvrsti. Žilavi lijev prema svojim svojstvima odgovara čeliku, a istodobno zadržava najbolja svojstva sivog lijeva: sposobnost prigušenja titraja i otpornost prema trošenju (habanju).

Legirani ljevovi sadrže u većim količinama elemente koji se i inače nalaze u običnom lijevu ili koji se posebno dodaju (Cr, Ni, Ti, Mo i drugi). Svrha legiranja nije u tome da se poboljšaju mehanička svojstva već u tome da se postignu neka posebna svojstva, kao npr. vatrostalnost ili otpornost na koroziju. Legiranjem se doduše poboljšavaju mehanička svojstva sivog lijeva, ali to se može postići i nelegiranim kvalitetnim lijevom. Legirni elementi omogućuju da se u toku hlađenja i skrućivanja u kalupu dobije sitnozrnata, odnosno neka željena struktura, da se lijev osobito za termičku obradu, te da se poboljšaju njegova kemijska i fizikalna svojstva. Prema namjeni legirani su ljevovi: legirani ljevovi za strojogradnju, legirani ljevovi otporni prema visokoj temperaturi i legirani ljevovi otporni prema koroziji.

Legirani ljevovi za strojogradnju su nisko legirani. Legiranjem se prije svega želi poboljšati postojanost pri povišenim temperaturama i nastoji se povećati tvrdoća, obradljivost i otpornost prema trošenju. Legirani se ljevovi za strojogradnju razvrstavaju na obradljive ljevove (sivi lijev) i ljevove koji se ne mogu obrađivati, već po potrebi samo brusiti (bijeli lijev).

Glavni je zahtjev da se obradljivi legirani strojni lijev može obrađivati na stroju. Tvrdoća lijeva nije dovoljan kriterij za ocjenu obradljivosti. Ako je osnovna matrica sorbitna, odljevak je tvrd, ali se daje obrađivati; ako se u matici nalaze karbidi, lijev uopće nije obradljiv, odnosno samo je slabo obradljiv. Za izradbu strojnih dijelova izloženih udarcima, za zamašnjake i strojeve za obradu, od kojih se osobito traži tvrdoća i otpornost prema trošenju, te za konstrukcije koje moraju imati dobra mehanička svojstva upotrebljavaju se ljevovi legirani s molibdenom (0,3...0,5% Mo), niklom (1,5% Ni) i nikal-molibdenom (1...1,25% Ni, 0,35...0,5% Mo). Za strojne dijelove od kojih se zahtijeva otpornost prema trošenju i sposobnost klizanja pri povišenoj temperaturi (kao npr. za klipove, cilindre ili kompresore) upotrebljavaju se legure s manganom (1,5...2% Mn), kromom (0,3...0,5% Cr), molibdenom (0,3...0,6% Mo), kromom i molibdenom (0,3...0,4% Cr, 0,3...0,4% Mo), te nikal-kromom (1,5% Ni, 0,4% Cr) i nikal-krom-molibdenom (1,5% Ni, 0,4% Cr, 0,25% Mo).

U grupu neobradljivih legiranih ljevova ubrajaju se bijeli ljevovi, a djelomice i sivi martenzitni lijev sa Ni-Cr (3,5...4% Ni i 0,3...0,8% Cr). Tako legirana litina na površini se skruti bijelo, dok u sredini prijelom ostaje siv. Do toga dolazi osobito pri lijevanju u kokile jer je hlađenje brzo. Elementi Cr i Mo pospješuju skrućivanje na vanjskim plohami odljevka. Neobradljivi legirani lijev služi za izradbu valjaka i kotača. Legiranjem sa 3,3% Cr, 3% Ni i 1% Cr postiže se tvrdoća 80 stupnjeva po Shoreu (~550 HB), i žilavost jezgre.

**Legirani ljevovi otporni prema visokim temperaturama.** Ljevovi koji su postojani pri visokim temperaturama otporni su i prema porastu (povećanju volumena zbog prijelaza vezanog

ugljika u grafit), na površini ne oksidiraju te zadržavaju mehaničku čvrstoću i pri povišenim temperaturama. Takva se svojstva postižu legiranjem sa silicijem i kromom. Ti legirni elementi stvaraju tanak oksidni sloj koji ne propušta plinove, ali ujedno smanjuju žilavost lijeva. Nikal samo neznatno utječe na otpornost prema oksidaciji, poboljšava žilavost i čvrstoću pri visokim temperaturama. Aluminijski smanjuje porast i oksidaciju, ali i mehaničku čvrstoću. Molibden povećava čvrstoću pri visokim temperaturama. U praksi se primjenjuju ljevovi legirani silicijem (4...6% Si), kromom (15...35% Cr), niklom (14...30% Ni, 1,5...5,5% Cr), aluminijem (18...25% Al) i nikal-krom-silicijem (13...32% Ni, 1,8...5,5 Cr, 5...6% Si).

**Ljevovi otporni prema koroziji.** Već je običan sivi lijev prilično otporan prema koroziji. Legirni dodaci, osobito nikal i krom, znatno poboljšavaju postojanost prema koroziji. Ako su zahtjevi stroži, npr. lijev je namijenjen i za upotrebu pri povišenim temperaturama, primjenjuju se ljevovi legirani silicijem, kromom, niklom i bakrom. Ljevovi sa silicijem sadrže 14...17% Si, sa kromom 20...35% Cr, sa niklom 14...30% Ni, 0,5...5,5% Cr i do 7% Cu. Austenitni ljevovi legirani niklom (tzv. Ni-otporni ljevovi) vrlo su postojani prema koroziji. Poznato je više desetaka vrsta Ni-otpornih ljevova koji su legirani niklom, nikal-kromom, nikal-krom-bakrom, nikal-krom-bakar-molibdenom. Ti su ljevovi postojani u mnogim organskim i anorganskim kiselinama te u alkalnim i slanim otopinama, a imaju i dobra mehanička svojstva, osobito žilavost.

## BIJELI TVRDI LIJEV

Karakteristika je bijelog lijeva da je u njemu sav ugljik vezan kao karbid Fe<sub>3</sub>C. Bijelo skrućivanje lijeva postiže se prikladnim kemijskim sastavom i većom brzinom hlađenja. Bijeli je lijev tvrd i krhak. Dodatkom legiranih elemenata promijeni se struktura karbida i osnovne matrice, jer perlit prijeđe u međustrukturu i martenzit. Razlikuju se bijeli tvrdi lijev i lijev s tvrdom korom.

**Bijeli tvrdi lijev** ima u čitavom presjeku bijeli prijelom. Ugljik je vezan, odljevci su tvrdi i krhki. Služi za izradbu dijelova izloženih trošenju (habanju). Odljevci se ne smiju dinamički opteretiti, a mogu se obrađivati samo brušenjem. U bijelom tvrdom lijevu lako se stvaraju usahline. Odljevci od tvrdog lijeva osobito se primjenjuju u drobilicama, mlinovima, za hidrauličke klipove, za mlinske kugle i sl. Lije se u pješčane kalupe i kokile.

**Ljevovi s tvrdom korom** tehnički su važniji od bijelog tvrdog lijeva, osobito jer se u tu grupu ubrajaju i neki ljevovi za valjke. Svojstva lijeva s tvrdom korom ovisna su o kemijskom sastavu i brzini hlađenja. Lije ima na površini bijel, odnosno meliran prijelom, koji prema jezgri polagano prelazi u sivi prijelom. Prijelazi između pojedinih zona ne smiju biti oštri da se tvrda kora zbog pojave napetosti ne odvoji. Radi stvaranja tvrde kore litina se ulijeva u kokile ili u kalupe s ugrađenim rashladnim pločama na mjestima gdje se traži velika tvrdoća. Ugljik povećava u prvom redu tvrdoću vanjske kore, a smanjuje čvrstoću. Tvrdoća lijeva s velikim sadržajem ugljika iznosi i do 500 HB. Silicij smanjuje stabilnost cementita i povećava sivo skrućivanje. Mangan olakšava stvaranje karbida i ujedno vezuje štetan sumpor. Dodatkom nikla, kroma i bakra može se utjecati na osnovnu strukturu (na stvaranje martenzita, odnosno sorbita), a time i na svojstva lijeva.

## KOVKASTI LIJEV

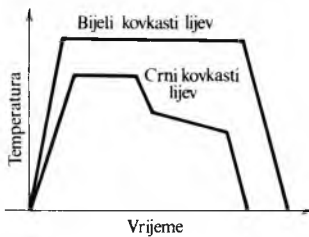
Kovkasti (temperirani) lijev je slitina željeza takva sastava da u sirovom odlivenom stanju ima bijeli prijelom. Nakon toplinske obrade (decentracijskim žarenjem) postiže se raspadanje cementita i izlučivanje grafita (crni kovkasti lijev) ili razugljičenje lijeva (bijeli kovkasti lijev).

Decentracijskim žarenjem (temperiranjem) dobro livljivog ali krhkog materijala dobiva se žilavost. Temperiranje se osobito primjenjuje za manje predmete složenih oblika koji moraju imati dobra mehanička svojstva, a bilo bi preskupo izrađivati ih kovanjem, dok bi lijevanje takvih predmeta od čeličnog

lijeva bilo otežano. Ako se odljevak žari u oksidacijskoj atmosferi, ugljik oksidira, a prijelom tako obrađenog odljevka je bijel. Odljevak će imati siv prijelom ako se žari u neutralnoj atmosferi, jer će se grafit izlučivati u obliku sitnih čvorića. Zbog fine i ravnomjerne raspodjele grafita materijal ima bolja mehanička svojstva nego sivi lijev. Prema svojim svojstvima kovkasti lijev nalazi se između sivog i čeličnog lijeva.

Sirovi (neobrađeni) kovkasti lijev ima podeutaktički sastav. Sastav zasipa mora biti takav da skrućeni odljevak ima bijeli prijelom i da raspadanje cementita pri žarenju bude što potpunije i što brže. Zahtijeva se bijel prijelom, jer bi inače grafitni listići smanjili čvrstoću odljevka. Tom se zahtjevu moraju prilagoditi količine ugljika, silicija, mangana i fosfora, a u obzir treba uzeti i debljinu stijenki. Pripadne odnose daju strukturni dijagrami.

**Žarenje (temperiranje).** Žarenjem lijeva s bijelim prijelomom na određenim temperaturama postiže se raspadanje cementita (sl. 10).



Sl. 10. Shematski prikaz žarenja bijelog i crnog kovkastog lijeva

**Žarenje crnog kovkastog lijeva.** Bijeli tvrdi lijev žari se u neutralnoj atmosferi, pri čemu se raspada cementit, dok se ugljik izlučuje kao grafit u obliku čvorića. Odljevci se žare na temperaturama 850–1050 °C sve dok se ne raspadne cementit (prvi stupanj grafitizacije). Nakon raspada cementita odljevak se hladi ispod kritične temperature da bi se ugljik koji se nalazi u krutoj otopini izlučio kao grafit (drugi stupanj grafitizacije). Neutralna se atmosfera postiže tako da se odljevci pri žarenju stavljaju u pijesak koji sprečava da oksidirajući plinovi dopru do odljevka, ili se pak žarenje provodi u zaštitnoj atmosferi. Normalan ciklus žarenja crnog kovkastog lijeva ovisi o debljini odljevka i traje 50–120 sati. Crni temperirani lijev obično ima feritnu strukturu. Kad se zahtijeva veća čvrstoća, primjenjuju se perlitni kovkasti ljevovi. Perlitna struktura može se postići ako se pri žarenju obavi samo prvi stupanj grafitizacije. S obzirom na različitu osnovnu strukturu (perlitno-grafitnu, odnosno feritno-perlitno-grafitnu) žarenjem se postižu i različita mehanička svojstva.

**Žarenje bijelog kovkastog lijeva** sastoji se od dvije faze: raspadanja cementita pri visokoj temperaturi i razugljičenja. Cementit se raspada žarenjem na temperaturama 950–1050 °C, dok se razugljičenje postiže žarenjem odljevka u oksidacijskoj atmosferi. Temperatura žarenja viša je nego pri žarenju crnog kovkastog lijeva. Trajanje žarenja na maksimalnoj temperaturi ovisi o debljini stijenki odljevka, o kemijskom sastavu i vrsti oksidanta. Proces žarenja traje 100–160 sati.

**Žarenjem pomoću željezne rude** ne može se skratiti proces, jer se pri žarenju mora zagrijavati i balast (oksidacijska smjesa i lonci), a ne smije se raditi ni s previsokim temperaturama, jer bi se ruda prepekla.

**Žarenje u oksidacijskoj atmosferi** nema tih ograničenja, jer se može točnije regulirati temperatura i tako bitno skratiti proces. Zato se kod proizvodnje bijelog kovkastog lijeva sve više primjenjuje žarenje u oksidacijskoj atmosferi. Reakcijska je atmosfera sastavljena od CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O i N<sub>2</sub>. Na razugljičenje na površini odljevka utječu temperatura, sastav plina i kemijski sastav odljevka. Razugljičuje se oksidacijom ugljika:  $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$ . Reakcijski se plin prvo veže s ugljikom na površini odljevka, pa se površina brzo razugljiči, ali premla brzina difuzije koči proces ako su odljevci deblji od 6 mm. U toku razugljičenja oksidacijska atmosfera postaje sve bogatija sa CO, pa je treba obnavljati da se proces ne bi suviše produžio. Oksidacijska se atmosfera obnavlja upuhivanjem vodene pare, zraka, butana i njihovih mješavina.

**Struktura kovkastog (temperiranog) lijeva.** Pravilno odžareni (temperirani) predmeti od bijelog kovkastog lijeva (do 6 mm) moraju imati feritnu strukturu na cijelom prijelomu. Odljevci s debljim stijenkama nemaju homogen prijelom, već pojedini slojevi polagano prelaze jedan u drugi. U odljevku se mogu stvoriti tri sloja: vanjski sloj ferita, u kojemu se cementit potpuno raspao, a ugljik je oksidiran, srednji sloj perlita i ferita, u kojemu je ugljik samo djelomično oksidiran, i unutrašnji sloj perlita, često i temperiranog grafita. Struktura odljevka od crnog kovkastog lijeva po cijelom je presjeku feritna sa sitnim čvorićima grafita. Debljina stijenki odljevka nema utjecaja na strukturu. Brzim hlađenjem do ispod kritične točke nastaje perlit. Termičkom se obradom dobivaju međustrukture, što poboljšava mehanička svojstva lijeva. Potrebna svojstva bijelog i crnog kovkastog (temperiranog) lijeva propisuju JUS C.J2.021.

**Peći za žarenje u plinskoj atmosferi** izrađuju se za nekontinuirani, polukontinuirani i kontinuirani rad. Bez obzira da li se radi sa zaštitnim ili reakcijskim plinom, peć mora biti hermetički zatvorena, pa se zato zagrijava ili električnom strujom ili indirektno. Prema konstrukciji, peći za nekontinuirani rad jesu komorne ili elevatorske.

## ČELIČNI LIJEV

Čelični lijev je namijenjen za izradbu dijelova konačnog oblika, tj. dijelova koji se naknadno više ne obrađuju nekim od postupaka plastične obrade (npr. valjanjem, kovanjem itd).

Čelični se lijev razvrstava na nelegirani (ugljični) čelični i na legirani čelični lijev. Ugljični čelični lijev prema sadržaju ugljika može biti niskougljični (manje od 0,2% C), srednjeugljični (0,2–0,5% C) i visokougljični čelični lijev (više od 0,5% C). Legirani čelik svrstava se u dva razreda (JUS C.B0.002): nisko-legirani (manje od 5% legiranih elemenata) i visokolegirani čelik (više od 5% legiranih elemenata).

**Nelegirani (ugljični) čelični lijev** je slitina željeza i ugljika koja može imati i do 2% C. Najčešće se upotrebljavaju ljevovi koji sadrže do 0,6% C. Ugljik najviše utječe na svojstva i strukturu čeličnog lijeva. S povećanjem postotka ugljika raste vlačna čvrstoća i granica plastičnosti, dok se istezanje smanjuje. Lijeve sadrži 0,3–0,5% Si, 0,4–0,7% Mn, do 0,05% P i do 0,05% S. Osim toga, prisutni su u manjim količinama i rezidualni elementi, koji također mogu utjecati na kakvoću lijeva. Silicij je dezoksidant koji sprečava segregaciju i poroznost lijeva. Mangan je također dezoksidant, a važan je zbog toga što vezuje sumpor. Sa 0,1% Mn povećava se vlačna čvrstoća za 9 N/mm<sup>2</sup>, dok se istezanje smanji za 0,3%. Sumpor se veoma lako segregira, što je osobito nepovoljno pri masivnim odljercima. Sumpor tvori sa željezom i FeO eutektik koji ima nisko talište. Fosfor je nepoželjan jer smanjuje žilavost i uzrokuje krhak i grubozrnat lijev. Sadržaj fosfora mora biti što manji (ispod 0,05%), a u legiranom ljevju ispod 0,03%.

Struktura čeličnog lijeva je u niskougljičnim i srednje-ugljičnim ljevovima feritna ili feritno-perlitna. Ugljični ljevovi sa 0,86% C imaju perlitnu strukturu. Ako u ljevju ima više ugljika, mreža sekundarnog cementita okružuje perlit. U masivnim odljercima i na mjestima gdje se lijev jako pregrije pojavljuje se tzv. Widmannstättenova struktura kao najgrublja struktura. U toj su strukturi grube feritne iglice razdijeljene po perlitu. Ta se struktura može odstraniti naknadnim žarenjem. Makrostruktura čeličnog lijeva većinom je dendritska.

Mehanička svojstva čeličnog lijeva ovisi o kemijskom sastavu, strukturi lijeva i toplinskoj obradi. Čelični lijev posjeduje, za razliku od ostalih ljevova, veliku čvrstoću, žilavost i istezljivost. Većina lijevanih čelika može se bez poteškoća obrađivati, variti i kovati. Svojstva čvrstoće čeličnog lijeva utvrđuju se na osnovi epruvete koja se smije odrezati s odljevka tek nakon završene toplinske obrade. Presjek uzorka treba da bude primjeren glavnim dimenzijama odljevka. Svojstva čeličnog lijeva propisuju JUS C.J3.011.

**Legirani čelični lijev** (v. Čelik, TE 3, str. 52) razvrstava se prema vrsti legiranih elemenata, namjeni i strukturi. Prema sa-

držaju legiranih elemenata razlikuje se niskolegirani (do 5% legiranih elemenata) i visokolegirani čelični ljev (s većim postotkom legiranih elemenata). Ljev se legira radi poboljšanja mehaničkih svojstava pri običnim ili povišenim temperaturama i da bi dobio posebna svojstva, npr. veću otpornost prema trošenju, povećanu prokaljivost, bolju otpornost prema koroziji itd. Kao legirni dodaci upotrebljavaju se u prvom redu silicij, mangan, nikal, krom, molibden, bakar, titan i vanadij, i to pojedinačno ili u kombinaciji. Neki legirni elementi šire gama-područje (Mn, Ni odn. C i N), a neki gama-područje zatvaraju (Cr, Mo, Si, Al, P). Legirani čelični ljev mnogo se upotrebljava za izradbu odljevaka koji moraju biti vatrootporni i otporni prema koroziji, te odljevaka za izradbu alata i sl.

**Čelični ljev za strojogradnju.** Ugljični čelični ljev, uz sva poboljšanja, nije prikladan za lagane strojograđevne konstrukcije, jer nije dovoljno prokaljiv. Tek razvojem kvalitetnog legiranog čelika dobiven je konstrukcijski materijal prikladan za strojogradnju. Svojstva se legiranog čelika uglavnom poboljšavaju toplinskom obradom, pa se zato ta vrsta čelika zove i čelični ljev za poboljšanje. U tu se grupu uvrštavaju ljevovi legirani niklom (1...3% Ni), kromom (0,9...1,2% Cr), krom-niklom (0,6...1,3% Cr i 1,5...4,2% Ni), krom-molibdenom (0,8...1,1% Cr i 0,15...0,25% Mo), krom-manganom (1,2...1,8% Cr i 1...1,4% Mn), silicijem (1,5% Si) i bakrom (1,5...2% Cu, do 1% Cr i do 0,2% Mo).

U početku se čelični ljev za poboljšanje s čvrstoćom više od 700 N/mm<sup>2</sup> izrađivao samo legiranjem s niklom i nikal-kromom. Kasnije se, zbog ekonomskih razloga, počeo nikal u ljevovima legiranim krom-niklom nadomještati molibdenom. Krom-molibdenski čelici pokazali su čak određene prednosti pred krom-nikalnim, tako da su ih u posljednje vrijeme gotovo potpuno nadomjestili. Poboljšane vrste krom-molibdenskih ljevova imaju čvrstoću do 1000 N/mm<sup>2</sup> pri debljini stijenki do 80 mm. Za čvrstoću veću od 1000 N/mm<sup>2</sup> primjenjuju se krom-nikal-molibdenski čelici. U tu se grupu ubrajaju čelici koji imaju do 5% legiranih elemenata i čvrstoću 700...1200 N/mm<sup>2</sup>.

**Čelični ljev mehanički otporan pri povišenim temperaturama.** Čelični ljev te grupe u temperaturnom području između 300 i 600 °C i pri dugotrajnom mehaničkom opterećenju zadržava dobra mehanička svojstva, ne mijenja strukturu niti postaje krhak. Također su ti ljevovi otporni prema koroziji i eroziji pregrijanih para i plinova. U tu se grupu ubrajaju čelici legirani kromom, krom-molibdenom, krom-molibden-vanadijem i krom-molibden-niklom. Za više temperature (do 750 °C) primjenjuju se austenitni krom-nikalni čelici koji su otporni i prema oksidaciji. Za temperature do 1000 °C služe slitine na osnovi nikla i nikal-kobalta bez željeza.

**Nerđajući čelični ljev.** Prema legirnim elementima razlikuju se sljedeći nerđajući čelični ljevovi: kromni čelični ljevovi sa 13...18% Cr i 0,1...0,25% C (perlino-martenzitni ljevovi), kromni čelični ljevovi sa 25...30% Cr i 0,5...1% C (feritno-karbidni ljevovi), krom-nikalni čelični ljevovi sa 18% Cr, 8% Ni i do 0,1% C (austenitni ljevovi), silicijski čelični ljevovi sa 12...18% Si, nikal-molibdenski čelični ljevovi sa 25...50% Ni i do 20% Mo.

Krom je osnovni legirni element nerđajućih čeličnih ljevova. Krom pasivizira čelični ljev stvaranjem zaštitnog krom-oksidnog sloja, a otapa se u feritu ili austenitu (12%). Ako u ljevu ima ugljika, stvaraju se krom-karbidi, zbog čega treba udio kroma povećati ili smanjiti sadržaj ugljika.

**Vatrootporni čelični ljevovi** otporni su na utjecaj agresivne plinske atmosfere pri temperaturama iznad 600 °C, a osim toga i pri povišenim temperaturama trajno zadržavaju propisanu čvrstoću. Osnovni legirni element vatrootpornih ljevova jest krom, koji tvori na površini gust i dobro prionljiv oksidni sloj. Nikal povećava postojanost i toplinsku otpornost. Ako u plinu ima sumpora, nije preporučljivo dodavati nikal. Ugljik do 0,3% povećava toplinsku otpornost. Silicij povećava vatrootpornost (dodaje se do 2,5%). Vatrootporni ljevovi jesu kromni ljevovi koji ne oksidiraju, ali imaju malu toplinsku otpornost, i krom-nikalni ljevovi koji su i toplinski otporni. Feritni kromni čelici i austenitni krom-nikalni čelici nemaju

faznih promjena, pa se ravnomjerno rastežu. Stoga oksidni sloj ne puca i ne ljušti se s površine.

**Čelični ljevovi za alate.** Alati su se ranije izrađivali samo od kovanog čelika, a danas se bez posebnih poteškoća mogu ljevati npr. matrice, trnovi i glodala. Ljevani alati moraju imati veliku otpornost prema trošenju, žilavost, i postojanost pri promjenama temperature. Pravilnim legiranjem i primjenom termičkom obradom mogu se postići propisana svojstva čeličnog ljeva za alate. Alati čelici svrstavaju se prema legirnim elementima u nikalne ljevove, krom-molibdenske ljevove, krom-nikal-vanadijske ljevove, krom-molibden-vanadijske ljevove i u krom-nikal-vanadij-volframske ljevove.

**Proizvodnja čeličnog ljeva.** Čelična se litina tali u bazičnoj (ili kiseloj) Martinovoj peći, u bazičnoj (ili kiseloj) elektrolučnoj peći, u kiseloj (ili bazičnoj) indukcijskoj peći ili električnoj otpornoj peći (s grafitnim štapom) koja može biti stabilna ili rotacijska. Pri izboru peći za taljenje treba uzeti u obzir obujam proizvodnje, težinu odljevka, vrstu sirovina, vrstu litine, način ljevanja, vrstu goriva i troškove.

Prema upotrijebljenoj troski i oblogu peći, proces je bazičan ili kiseo. Kisele peći ozidane su kiselom opekam, a i troska im je kisel. Bazične peći ozidane su magnezitnom, krom-magnezitnom ili dolomitnom opekam, a u njima se upotrebljava bazična troska. Većina čeličnih ljevova proizvodi se u bazičnim pećima. U bazičnoj peći može se taliti i lošiji uložak, jer nije osobito teško odstraniti sumpor. Čelična se litina tali u kiselim pećima jedino kad je uložak vrlo čist, bez sumpora i fosfora.

**Toplinska obrada čeličnih odljevaka.** Toplinska obrada bitan je dio metalurgije čeličnog ljeva (v. *Toplinska obrada*). Dok se valjanjem i kovanjem mijenja primarna struktura čelika pomoću mehaničke sile, svojstva se čeličnog ljeva mogu popoljšati samo toplinskom obradom. Najvažniji postupci toplinske obrade čeličnog ljeva jesu žarenje i poboljšavanje. Žarenjem se odstranjuju napetosti, postiže se sitnozrnata struktura i poboljšava obradljivost. Razlikuje se normalizacijsko, difuzno i meko žarenje te žarenje radi uklanjanja napetosti. Normalizacijskim se žarenjem uklanja grubozrnata (Widmannstättenova) struktura nelegiranog čelika i dobiva se veća čvrstoća i žilavost. Podeutektoidni se ljev žari na 30...50 °C iznad linije pretvorbe GS (u dijagramu Fe-C, sl. 1), i zatim hladi na zraku da se dobije sitnozrnati perlit. Običan se ljev žari još pri 500...650 °C radi uklanjanja napetosti, odnosno, normalizaciji se priključi meko žarenje (700 °C) radi postizanja bolje obradljivosti. Meko žarenje može ujedno biti i žarenje za uklanjanje napetosti. Normalizacijskim žarenjem utječe se u prvom redu na žilavost ljeva, a posebno na istezanje. Poboljšavanje je kombinacija kaljenja i napuštanja (v. *Čelik*, TE 3, str. 96).

## SLITINE TEŠKIH KOVINA

U slitine teških kovina ubrajaju se slitine bakra, nikla, cinka, olova i kositra. Među njima najvažnije su slitine bakra koje su poznate pod nazivima: bronca, mjed, tombak i crveni ljev. Upotrebljavaju se zbog dobre postojanosti prema koroziji, dobre mehaničke čvrstoće i dobre obradljivosti.

**Bakar i bakrene slitine.** Čisti se bakar rijetko lijeva. Bakar se primjenjuje u prvom redu za izradbu različitih dijelova električnih uređaja ili za odljevke koji moraju biti provodljivi za toplinu, npr. za sapnice u visokim pećima, za zasune i sl.

Bakar s dobrom električnom vodljivošću dobiva se pravilnim pretaljanjem čistog uloška, obično elektrolitskog bakra. Primjese fosfora, željeza, silicija i nikla su štetne. Taljenje je oksidacijsko radi smanjenja vodika u litini, a litina se mora prije ljevanja dezoksidirati. Budući da fosfor kao oksidans ne dolazi u obzir, primjenjuju se cink, kadmij ili berilij.

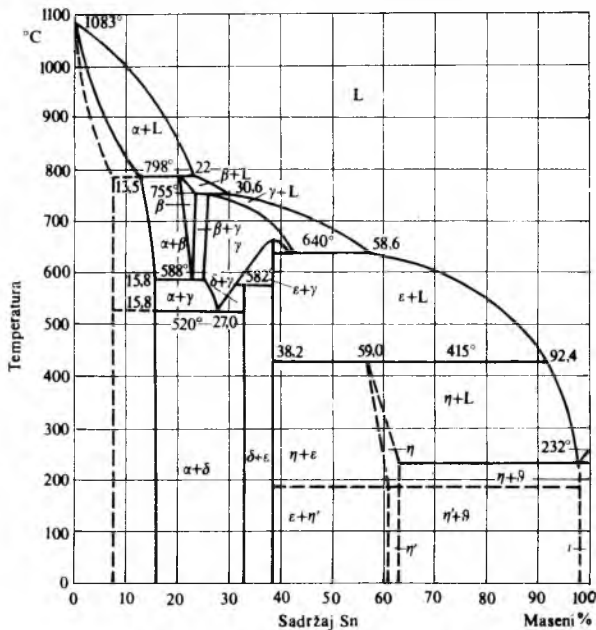
Prema JUS C.D0.001 bakrene se slitine razvrstavaju na broncu, crveni ljev, mjed i novo srebro. Bronca je slitina s najmanje 60% Cu i jednim ili više legirnih dodataka, među kojima ne smije prevladavati cink. Naziva se prema glavnom legirnom elementu. Mjed je slitina u kojoj ima barem 50% bakra, dok je glavni legirni element cink (do 44%), a ponekad se dodaje još i olovo. Mjed sa 80% i više bakra zove se



tombak. Novo srebro je slitina bakra, nikla i cinka (eventualno i olova), a razlikuje se od mjedi po količini nikla (10%) i po bijeloj boji.

**Bronca.** Bronca je opći naziv za slitinu bakra i kositra koja sadrži ~4...20% Sn i druge kovine, u prvom redu aluminij, olovo i mangan. S obzirom na legirni element razlikuju se kositrene, aluminijska, olovna, manganska i višekomponentna posebna bronca.

**Kositrena bronca** najstarija je slitina bakra. Svoju važnost zadržala je i danas, mada se njezin sastav nije bitno izmijenio. Kositrena bronca obično sadrži 10...20% Sn, dok se bronca sa 2...8% Sn upotrebljava za poluproizvode. Iz dijagrama slijevanja Cu-Sn (sl. 11) vidi se da je kositar topljiv u fazi  $\alpha$  do 13,5% pri 798 °C. Pri nižim temperaturama nastupa eutektoid  $\alpha + \delta$ . Faza  $\delta$  je tvrda i krhka, dok je faza  $\alpha$  mekana. Slitina sa 5...15% Sn ima vrlo široko područje skrućivanja (skoro 200 °C), zbog čega je sklona segregaciji.



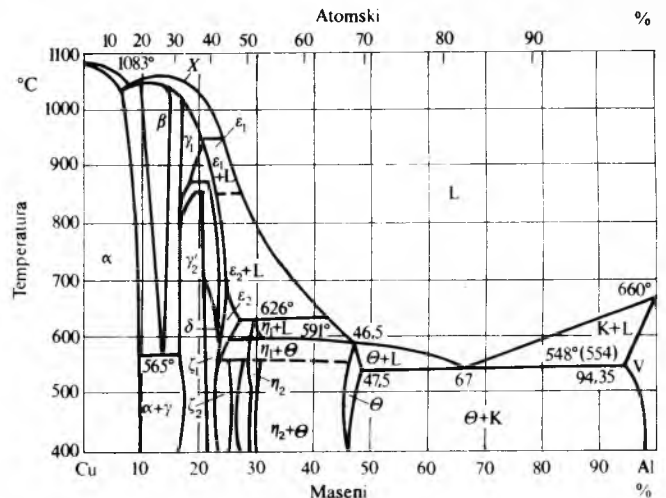
Sl. 11. Dijagram stanja Cu-Sn

Prema JUS C.D2.302 kositrena bronca sadrži 10...20% Sn, rastezna čvrstoća ljevova iznosi 150...240 N/mm<sup>2</sup> pri livenju u pijesak, a istežanje je 3...15%. Najvažnije svojstvo kositrene bronce jest dobra čvrstoća i otpornost prema koroziji, a ako udio kositra ne prelazi 10%, i dobra sposobnost za oblikovanje (npr. za gnječenje). Zbog dobre otpornosti prema koroziji bronca se upotrebljava u brodograđevnoj industriji, u pogonima hidroelektričnih postrojenja, u vodovodnim instalacijama, za izradbu zasuna, zupčanika i drugih dijelova strojeva i sl. Kositrena bronca dezoksidirana fosforom sadrži 0,2...1% P, pa se zove fosforna bronca. Pri radu s fosforom treba biti vrlo oprezan, jer već dodatak od 1,5% P čini odljevak krhkim. Udio fosfora manji od 1% povećava čvrstoću i tvrdoću bronce. Dodatkom fosfora snižuje se temperatura taljenja i smanjuje viskozitet i sklonoost prema razlučivanju.

**Olovna bronca** je slitina bakra i olova koja sadrži najmanje 60% bakra, a olova do 28%, a u posebnim slučajevima čak do 35%. Olovno-kositrena bronca je slitina bakra, olova i kositra. Olova ima najviše do 28%, a kositra do 10%. Ponekad se dodaje i nešto nikla i cinka. Olovna (sa 25% Pb) i olovno-kositrena bronca (sa 5...22% Pb i 5...10% Sn) normirana je standardom JUS C.D2.305, gdje je označena sa P.CuPb i P.CuSnPb. Može da sadrži i nešto nikla, cinka, željeza ili antimona, ali su odstupanja za olovo i antimon ograničena. Vlačna čvrstoća iznosi 150...200 N/mm<sup>2</sup>, istežanje je 6...14%, a tvrdoća 50...80 HB. Dodatak olova povećava obradljivost i otpornost lijeva prema koroziji. Slitine sa 8...12% Pb imaju dobra antifrikcijska svojstva pa se upotrebljavaju za izradbu

dijelova izloženih trenju. Željezo i aluminij u tim slitinama pogoršavaju livljivost i antifrikcijska svojstva. Nikal, mangan i antimon smanjuju razlučivanje. Olovna bronca poznata je kao kovina za izradbu ležaja. Nedostatak joj je sklonoost prema razlučivanju prilikom lijevanja. U višekomponentnim broncama nikal povećava sposobnost prihvaćanja olova.

**Aluminijska bronca** otporna je prema koroziji, a i pri višim temperaturama ima dobru čvrstoću. Osim bakra, sadrži do 11% aluminija, a radi poboljšanja svojstava dodaje se i željezo, mangan i nikal. Aluminijska bronca je binarna ili višekomponentna slitina. S obzirom na sastav razlikuju se binarna aluminijska bronca sa 8...10% Al i višekomponentna aluminijska bronca s dodatkom aluminija, željeza, nikla ili mangana. Aluminij je topljiv u bakru do 9,4% (sl. 12), kao kruta otopina bez pretvorbi. Sastav tehničkih aluminijskih bronci odabire se tako da bude prikladan najvećoj topljivosti aluminija. Zbog brzog hlađenja ne uspostavlja se ravnoteža, pa granica najveće topljivosti leži pri 7,4...7,8% Al, i zato livena aluminijska bronca ima heterogenu strukturu. Bronca s većim postotkom aluminija može se toplinski obrađivati. S povećanjem postotka aluminija poboljšavaju se mehanička svojstva, posebno otpornost prema koroziji koja je i do deset puta veća od kositrene bronce.



Sl. 12. Dijagram stanja Cu-Al

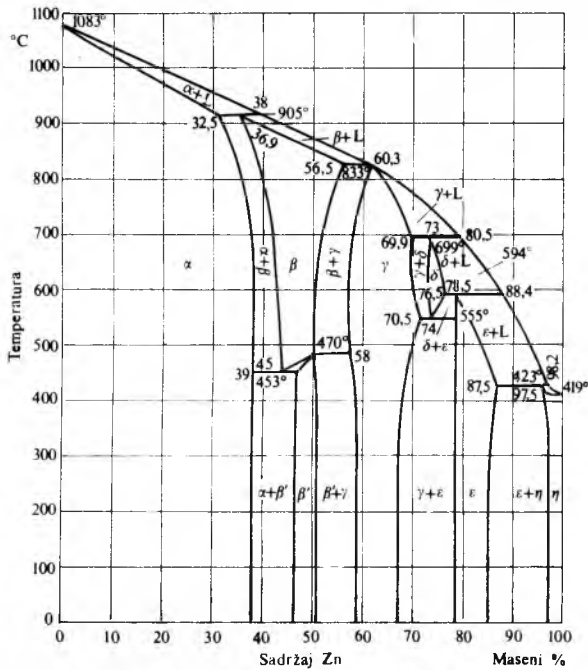
Sastav aluminijske bronce propisuje JUS C.D2.303. Slitina sadrži 9...10% Al, 3% Fe, a može imati i 4,5% Ni kao i nešto mangana i cinka. Vlačna čvrstoća iznosi 350...600 N/mm<sup>2</sup>, istežanje je 10...20%, a tvrdoća 95...165 HB. Takvi se odljevci upotrebljavaju u kemijskoj i prehrambenoj industriji, za armature otporne prema koroziji i sl.

**Crveni lijev** je slitina bakra, kositra i cinka. Mnogi ubrajaju crveni lijev u višekomponentnu broncu u kojoj je skupi kositar nadomješten cinkom. Prema JUS crveni je lijev samostalna bakrena slitina. Skrućivanje crvenog lijeva može se pratiti prema binarnim strukturnim dijagramima Cu-Sn. Cink se topi u smjesi  $\alpha$  kristala sustava Cu-Sn.

Crveni je lijev normiran standardom JUS C.D2.304. Slitina sadrži 4...10% Sn, 2...7% Zn i 1...4% Pb. Vlačna čvrstoća iznosi 150...270 N/mm<sup>2</sup>, istežanje je 6...25%, a tvrdoća 60...90 HB. Crveni lijev zadržava čvrstoću do temperature ~200 °C i služi za izradbu različitih armatura, kliznih ležaja, ventilnih sjedala i sl.

**Mjed** je slitina bakra i cinka. Tehnički je važnija slitina s više od 50% Cu. Slitina s manje bakra je krhka i tvrda, a slitina za gnječenje, koja sadrži više od 80% Cu, zove se tombak. Mjed se može bez poteškoća taliti i lijevati, pa se stoga često upotrebljava kao komercijalni lijev. Mjed može biti obična mjed legirana samo s cinkom, i posebna mjed u kojoj se uz cink nalaze još i aluminij, nikal, mangan, željezo itd. Dijagram slijevanja Cu-Zn (sl. 13) pokazuje da je pri 905 °C topljivo u bakru do 32,5% cinka, a pri običnoj temperaturi do ~38%. Osim faze  $\alpha$ , pojavljuju se pri većem

udjelu cinka još i faze  $\beta'$  i  $\gamma$ . Čvrstoća i tvrdoća slitine rastu s udjelom faze  $\beta'$ , dok faza  $\gamma$  povećava krtoću.



Sl. 13. Dijagram stanja Cu-Zn

Obična mjed je dvokomponentna slitina bakra s cinkom. Željezo povećava čvrstoću u toj slitini, a silicij, aluminij, antimon i sumpor nisu poželjni. Sastav obične mjedi propisan je standardom JUS C.D2.300. Slitina za lijevanje u pješčane kalupe sadrži 63...67% Cu, do 3% Pb, a ostatak je cink. Može sadržavati i do 1% Sn, do 0,8% Fe i do 0,5% Ni. Čvrstoća i tvrdoća povećavaju se rastućim postotkom cinka, dok faza  $\beta'$  povećava tvrdoću, a smanjuje žilavost. Upotreba obične mjedi toliko je svestrana da je teško nabrojiti sva područja primjene. Prema JUS može se mjed upotrijebiti i za izradbu armatura, kućišta, konstrukcijskih dijelova za elektroindustriju, za okove i sl.

Posebna (specijalna) mjed. Svojstva mjedi poboljšavaju se dodatkom nikla, mangana, željeza i aluminija. Time se mjedi povećava čvrstoća, tvrdoća i postojanost prema koroziji. Sastav posebne mjedi propisuje JUS C.D2.301. Ta slitina sadrži 54...62% Cu, 1...3% Mn, dok je ostatak cink, a može sadržavati i do 3% Ni, ali također željezo, aluminij, kositar, olovo, silicij i druge elemente. Vlačna čvrstoća specijalne mjedi iznosi 300...600 N/mm<sup>2</sup>, istezanje je 15...20%, a tvrdoća 80...150 HB. Ta se mjed primjenjuje u prvom redu za odljeve koji moraju biti nepropusni za tekućine i plinove (npr. za visokotlačne armature za vodu i plinove) te za različite specijalne odljeve (npr. za brodske propelere).

Za vrijeme taljenja bakra i njegovih slitina treba spriječiti da litina upije plinove, prije svega vodik. Istodobno treba poduzeti sve potrebno da se talina očisti od nepoželjnih primjesa i nečistoća. Litina, naime, ne otapa plinove samo dok je u tekućem stanju, već i za vrijeme zagrijavanja i taljenja. Zato već pri punjenju peći treba spriječiti upijanje plinova. Oksidacijskim taljenjem litina se obogaćuje kisikom prema reakciji:  $2H + Cu_2O \rightleftharpoons 2Cu + 2O$ . Oksidacijsko se taljenje postiže ako se zagrijavanje provodi s viškom zraka, ili ako se namjerno u talinu dodaju oksidi. Pri oksidacijskom se taljenju hotimice povećava sadržaj kisika u litini. Nakon završenog taljenja mora se ukloniti kisik vezan s bakrom ili s legiranim elementima. U tu se svrhu litina dezoksidira dodacima koji imaju veći afinitet prema kisiku nego bakar. Dezoksidansi ne smije štetno utjecati na sastav slitine. Najčešće se kao dezoksidansi upotrebljavaju fosfor, berilij, mangan, magnezij i kalcij (kalcij-borid).

Refinacija je postupak kojim se iz tekuće litine uklanjaju proizvodi dezoksidacije, nečistoće i apsorbirani plinovi. Često se litina mora oksidirati radi uklanjanja štetnih primjesa (oksidacijska refinacija). Tada se upotrebljavaju oksidi koji lako odvajaju kisik (npr. CuO). Oksidi ( $As_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ) takvom refinacijom isplivaju na površinu, pa se lako odstrane. Metalne se primjese uklanjaju iz litine (npr. mjedi) pomoću klora. Klor se uvodi u litinu u plinovitom stanju ili se dodaje u obliku kemijskog spoja. Tako se uklanja u prvom redu aluminij, ali i mangan, olovo i željezo. Nastali kloridi imaju nisko talište i vrela, pa djelomice ispare ili se vežu s troskom.

Cink i njegove slitine. Čisti se cink vrlo rijetko lijeva; umjesto cinka upotrebljavaju se obično njegove slitine. Slitine se cinka lijevaju u pješčane kalupe i kokile, a primjenjuje se i lijevanje pod tlakom. Posljednjih je godina tehnika lijevanja cinka znatno napredovala. Cinkove slitine, legirane s aluminijem, također s bakrom i magnezijem, imaju dobra mehanička i tehnološka svojstva. Bakar povećava livljivost (do 1,8% Cu) i tvrdoću, a aluminij mehaničku čvrstoću i livljivost (do 5,5% Al). Cink za izradbu slitine mora biti što čišći (do 99,99%).

Cinkove slitine za lijevanje pod tlakom propisane su standardima JUS C.E1.050 i C.J6.040. Cinkove slitine sadrže 3,7...6% Al, 0...1,6% Cu i 0,03...0,06% Mg. Vlačna čvrstoća lijeva iznosi 180...270 N/mm<sup>2</sup>, istezanje je 0,5...1,5%, a tvrdoća 70...80 HB. Odljevci iz cinkovih slitina upotrebljavaju se u automobilskoj i elektrotehničkoj industriji.

Kositar i kositrene slitine. Čisti se kositar u ljevarstvu rijetko upotrebljava. Od njega se lijevaju jedino manji ukrasi, figurice, posude, dršci i sl. Kositrene su slitine, međutim, u tehnici vrlo važne. Prema primjeni razvrstavaju se na ležajne slitine i slitine za tlačni ljev. Za ljevanje je u prvom redu važna prva grupa. Od dvokomponentnih slitina upotrebljavaju se slitine kositra i olova te kositra i antimona. Od višekomponentnih slitina primjenjuju se slitine kositra, antimona, olova i bakra koje se zovu bijele ležajne slitine. Kositar je osnovni materijal, dok su antimon, bakar i olovo legirni elementi. Te se četiri kovine bez poteškoća međusobno legiraju. Slitine se kositra upotrebljavaju u različitim varijantama za lijevanje blazinica kliznih ležaja.

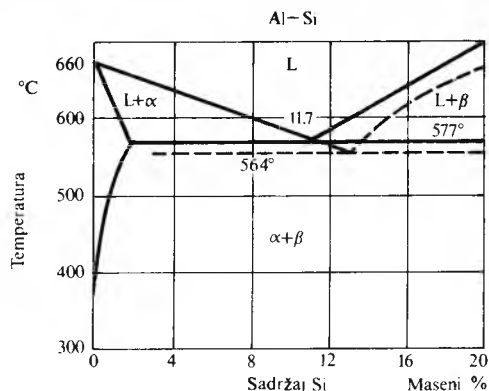
## SLITINE LAKIH KOVINA

Aluminij i aluminijske slitine. Čisti se aluminij teško lijeva, a i ljev od čistog aluminija ima lošu čvrstoću. Zbog otpornosti prema koroziji odljevci od čistog aluminija služe u kemijskoj i prehrambenoj industriji. Čisti se aluminij rijetko lijeva u pješčane kalupe, već se obično lijeva u kokile. Rastaljeni aluminij lako upija plinove, u prvom redu vodik unesen u litinu s vlažnim zasipom, gorivom ili na drugi način.

Ako se uspoređi s čelikom i teškim slitinama, aluminij i njegove slitine imaju manju gustoću, pa su prikladni za izradbu konstrukcijskih elemenata u zrakoplovnoj industriji, strojogradnji i sl. Dalje su prednosti: dobra otpornost prema koroziji, dobra električna i toplinska vodljivost, dobra obradljivost, čista i glatka površina i nemagnetičnost. Aluminijske se slitine mogu lijevati u pijesak i kokile, pod tlakom i centrifugalno, a da se zbog toga ne mora bitno mijenjati sastav litine. Aluminij se legira s bakrom, silicijem, magnezijem, cinkom, manganom, kromom, titanom i kositrom (v. *Aluminijum*, TE 1, str. 230). Željezo je gotovo uvijek prisutno, ali se smatra nepoželjnom primjesom. Prema legiranim elementima standard JUS C.C0.001 razvrstava aluminijske slitine na grupe: Al-Si, Al-Mg, Al-Cu i Al-Zn-Mg. Sastav i svojstva aluminijskih slitina propisuje JUS C.C2.300.

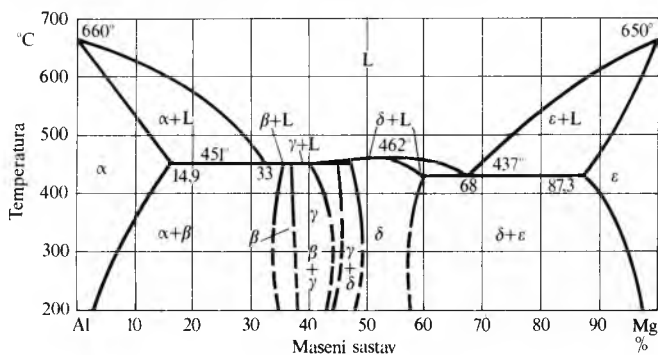
Slitine Al-Si. Skrućivanje slitine Al-Si može se pratiti u binarnom faznom dijagramu, sl. 14. Topljivost silicija u aluminiju (u fazi  $\alpha$ ) iznosi 1,65% pri temperaturi 577 °C, a 0,05% pri temperaturi okoliša. Većina slitina ima gotovo eutektički sastav, pa stoga i dobru livljivost, što osobito važi za slitinu P.AlSi12. Povećanjem postotka silicija čvrstoća raste do eutektičkog sastava, a zatim opada. Slitine te vrste

sadrže 9...13,5% Si i 0,3...0,6% Mn, a neke još i 0,2...1,3% Mg. Dodatak magnezija slitinama Al-Si poboljšava njihova mehanička svojstva. Nastaje spoj  $Mg_2Si$  kojega je topljivost u aluminiju gotovo jednaka topljivosti silicija. Tako se dobiva na izgled binarni sustav Al- $Mg_2Si$  s ograničenom topljivošću u krutoj otopini, što omogućuje da se toplinskom obradom poboljša čvrstoća. Udio magnezija je u tim slitinama malen (do 0,6%).



Sl. 14. Dijagram stanja Al-Si

**Slitine Al-Mg.** Djelovanje magnezija slično je djelovanju bakra. Binarni fazni dijagram (sl. 15) pokazuje da se topljivost magnezija u krutoj otopini aluminija mijenja, i to od 2,9%, pri temperaturi okoliša, do 14,9% pri 451°C. Faza  $\beta$  je tvrda. Zbog različite topljivosti u krutoj otopini mijenjaju se toplinskom obradom svojstva čvrstoće slično kao za slitine Al-Cu. Pojedine slitine Al-Mg sadrže 4...8% Mg, a radi postizanja sitnozrnate strukture obično još i mangana i 0,1...0,3% Ti. S povećanjem magnezija livljivost postaje lošija jer se područje skrućivanja proširi. Kakvoća slitina s više od 8% Mg poboljšava se homogenizacijskim žarenjem. Magnezij povećava čvrstoću i antikoroziivna svojstva, pogoršava ljevačka svojstva, u prvom redu livljivost, i povećava sklonost porozitetu.



Sl. 15. Dijagram stanja Al-Mg

**Slitine Al-Cu (durali).** Aluminijske slitine s bakrom (do 5,6% Cu) imaju zadovoljavajuća mehanička svojstva, povećanu čvrstoću nakon toplinske obrade, a mogu se i dobro obrađivati. Lošija su im ljevačka svojstva. Na dijagramu Cu-Al, sl. 12, vidi se da se s povećanjem temperature povećava i topljivost bakra u aluminiju, i to od 0,5%, pri temperaturi okoliša, do 5,65% pri 548°C. Slitine s manje bakra (do 5,6%) imaju dobra mehanička, a lošija ljevačka svojstva (slabu livljivost, sklonost likvaciji, stvaranje pukotina u toplom stanju). Slitine s više bakra posjeduju bolju livljivost, a slabiju čvrstoću. Slitine Al-Cu sadrže 4...5% Cu, odnosno 9...11% Cu i 0,2...0,5% Mg.

Aluminijske slitine pri taljenju lako upijaju plinove i lako oksidiraju. Otopljeni plinovi, u prvom redu vodik, oslobađaju se za vrijeme prelaska litine iz tekućeg u kruto stanje, pa zbog toga nastaje porozitet na mjestima gdje je litina

najduže ostala u tekućem stanju. Ta se poroznost teško razlikuje od mikroporoznosti. Zbog reakcije litine s atmosferom peći za vrijeme taljenja dolazi do upijanja plinova i oksidacije. Tome pridonose i nečistoće koje se unose u peć s uloškom od metalnih strugotina i otpadaka. Da se spriječi upijanje plinova i oksidacija, površina se litine pokrije nekim zaštitnim sredstvom (taljivom) koje sprečava da litina upija plinove. Zato je bolje da se prvo aluminijski otpaci pretale pod zaštitom u blokove, pa da se za pripremu slitina upotrijebi tako pročišćen aluminij. Budući da se topljivost plinova u aluminiju povećava s temperaturom litine, treba taliti i lijevati pri što nižim temperaturama. Pokrovna taljiva (zaštitna sredstva) sastavljena su od kriolita, NaCl, KCl i drugih tvari. Kombinacijom različitih soli može se talište taljiva prilagoditi temperaturi taljenja aluminijskih slitina.

Litina se mora prije lijevanja rafinirati. Rafinacijskim sredstvima odstranjuju se ostaci plinova i nemetalni uključci (npr.  $Al_2O_3$ ). Pri rafinaciji inertnim plinovima (dušikom, argonom, helijem) talina se propuhuje, pa se tako uklone nemetalni uključci i plinovi. Pri rafinaciji klorom stvaraju se mjehurići HCl i  $AlCl_3$ , koji adsorbiraju vodik i uključke te očiste litinu. Klor uklanja vodik, jer smanjuje njegov parcijalni tlak i vezuje ga u klorovodik HCl. Osim toga, stvara se aluminij-triklorid  $AlCl_3$ , koji sublimira pri 183°C i ispire talinu. Ako u talini ima magnezija, stvara se magnezij-klorid, koji zbog manje gustoće ispliva na površinu taline.

Na kristalizaciju litine i veličinu zrna može se utjecati modificiranjem (cijepljenjem). Kao modifikatori služe natrij, kalij, titan, cirkon i njihove soli.

Aluminijske slitine imaju dobru livljivost tako da se mogu lijevati rebra čak debljine 0,8 mm. Međutim, obično se smatra da debljina odljevka treba da bude veća od 3 mm. Livljivost je bolja u slitina s endogenim skrućivanjem, a lošija u slitina s egzogenim skrućivanjem (Al99,9, Al Mg4, Al Mg7, Al Cu5 Mg Ti) u kojima se stvaraju kristali uz stijenke kalupa i time zatvaraju protok litine.

Toplinskom obradom poboljšavaju se mehanička svojstva odljevaka od aluminijskih slitina. Primjenjuju se tri vrste toplinske obrade: očvršćivanje (s popuštanjem), žarenje radi uklanjanja napetosti i difuzijsko ili homogenizacijsko žarenje. Postupke toplinske obrade propisuje JUS.

**Magnezij i magnezijske slitine.** Prve magnezijske slitine izradene su 1909. god., a tek 1923. god. počela je tehnička upotreba magnezija. Proizvodnja magnezija znatno se povećala za vrijeme drugoga svjetskog rata i nakon njega, te je 1960. god. iznosila 200 000 t (1938. god. iznosila je svega 25 000 t).

Čisti se magnezij ne lijeva, nego služi jedino kao dezoksidacijsko sredstvo i kao modifikator pri lijevanju sivog lijevka. Čisti magnezij, liven u pješčanom kalupu, ima vlačnu čvrstoću 120 N/mm<sup>2</sup>, istezanje mu je 6%, a tvrdoća 30 HB. Dodatkom legiranih elemenata njegova se čvrstoća poboljšava. Talište čistog magnezija leži na 650°C, a vrelšte na 1 107°C.

Magnezijske su slitine legirane s aluminijem, cinkom, manganom, ponekad i sa silicijem. Usprkos maloj gustoći (1 740...1 920 kg/m<sup>3</sup>) pojedine slitine magnezija imaju veću specifičnu čvrstoću nego aluminijske i bakrene slitine. Zato se magnezijske slitine upotrebljavaju za izradbu dijelova strojeva i elemenata koji, osim male mase, moraju imati i veliku čvrstoću pri stalnom opterećenju (dijelovi lakih strojeva, aviona i motora, elektrotehničkih naprava i sl.). Magnezijske slitine Mg-Al-Zn-Mn sadrže 5,5...9,5% Al, 0,3...3,5% Zn i 0,15...0,3% Mn. Vlačna čvrstoća iznosi 160...250 N/mm<sup>2</sup>, istezanje je 0,5...6%, a tvrdoća 50...80 HB.

LIT.: E. Piwowarsky, *Hochwertiges Gusseisen*. Springer Verlag, Berlin 1959. — K. Watschenko, L. Sofroni, *Magnesium behandeltes Gusseisen*. Deutscher Verlag, Leipzig 1960. — E. Brunhuber, *Legierungshandbuch der Nichteisenmetalle*. Schiele Schön, Berlin 1960. — F. Roll, *Handbuch der Giesserei-Technik*. Springer Verlag, Berlin 1963. — C. F. Walton, W. Patterson, *Gusseisen Handbuch*. Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1963. — P. Schneider, R. Döpp, *Temperguss*. Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1966. — C. Pelhan, *Li-varstvo*. Univerzitetna založba, Ljubljana 1971. — G. J. Davies, *Solidification and casting*. Applied Science Publisher, London 1973. — R. Wlodaver, *Gelenkte Erstarrung von Gusseisen*. Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1977.