

kao katalizator za proizvodnju etilacetata iz acetaldehida. Analogno može služiti Al-amilat za proizvodnju amilacetata. Al-alkoholati su važni kao redoks-katalizatori za pretvorbu okso-spojeva u oksispojve i obratno. S vodom se raspadaju na alkohol i aluminijev hidroksid.

Aluminijev antimonat, AlSbO_4 , dobiva se žarenjem aluminijeva hidroksida, antimonova oksida i sumporne kiseline. Služi kao sastojina bijelih neprozirnih emajla. Za istu svrhu služi i analogno dobiveni *aluminijev stanat* AlSnO_4 . — *Aluminijev borat* je sastojina nekih emajla. Proizvodi se iz borne kiseline i aluminijeva oksidhidrata. — *Aluminijev borotantat* služi, pod imenom *kutol*, u medicini za posipe, masti i paste. Topljivi kutol je Al-borotano-tartarat. *Al-borotartarat*, Boral, topljiv u vodi, antiseptik. — *Aluminijev formijat*, *normalni*, $\text{Al}(\text{HCOO})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, i *bazični*, dobivaju se uparivanjem njihovih otopina do suha. Otopine se dobivaju otapanjem aluminijeva hidroksida u mravljjoj kiselini ili dvostrukom izmjenom aluminijeva sulfata s kalcijevim formijatima. Služe u iste svrhe kao aluminijevi acetati, nadalje pri siliranju zelene krme, za matiranje umjetne svile, kao močilo za sjeme. — *Aluminijev fosfat* tvori minerale *tirkiz* $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, i *wavelit* (wavelit), $(\text{AlOH})_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$. Dobiva se taloženjem otopine aluminijeva sulfata natrijevim fosfatom. Služi kao supstrat za bojene lakove. — *Aluminijev fosfid*, AlP, proizvodi se iz elemenata, služi za pomorske signalne baklje, jer s vodom razvija samozapaljivi fosforovodik PH_3 , fosfin. — *Aluminijev glikolat* upotrebljava se u alizarinskom tisku tekstila, poglavito za oranž. — *Aluminijev klorat*, $\text{Al}(\text{ClO}_3)_3$, proizvodi se, redovito na mjestu upotrebe, konverzijom aluminijeva sulfata kalcijevim ili barijevim kloratom. Služi u bojadisarstvu i tisku tekstila kao močilo, oksidans i sredstvo za jetkanje. — *Aluminijev kromat* služi kao oslabljivač u fotografiji. Kalcijev-aluminijev kromat je mineral *avalit*. — *Aluminijev laktat*, $\text{Al}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_3$, bijel, u vodi topljiv prah; proizvodi se djelovanjem mliječne kiseline na aluminijev hidroksid, daje postojane vodene otopine te se u medicini upotrebljava mjesto aluminijeva acetata. Za istu svrhu služi, pod imenom *moronal*, bazični aluminijev formaldehid-bisulfit $\text{CH}_2\text{OH} \cdot \text{O} \cdot \text{SO}_2 \cdot \text{Al}(\text{OH})_2$. — *Aluminijev nitrat* proizvodi se otapanjem aluminija ili aluminijeva hidroksida u dušičnoj kiselini, ili dvostrukom izmjenom aluminijeva sulfata s kalcijevim ili olovnim nitratom, mjestimično i djelovanjem dušične kiseline na leucit (u Italiji) ili labradorit (u Norveškoj). Služi kao močilo u bojadisarstvu i za proizvodnju Auerovih mrežica, u proizvodnji katalizatora za industriju nafte. S Al-acetatom daje Al-acetat-nitrat (v. naprijed). Uparivanjem dušično kisele otopine može se dobiti kristalizirani $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, rompski, bezbojni kristali koji se raskvasuju, topljivi su u vodi, alkoholu, acetonu, dušičnoj kiselini i sumporouglikuju. — *Aluminijev oksalat*, $\text{Al}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$, taloži se otopinom amonijeva oksalata iz otopine amonijeva sulfata. Služi kao močilo u tisku tekstila. — *Aluminijev rodanid*, $\text{Al}(\text{CNS})_3$, dobiva se u otopini dvostrukom izmjenom aluminijeva sulfata s kalcijevim ili barijevim rodanidom. Otapanjem aluminijeva hidroksida u takvoj otopini dobiva se otopina bazičnog rodanida, koja služi u bojadisarstvu kao močilo u slučajevima kad je potrebna odsutnost i najmanjih tragova željeza: zbog poznate crvene boje koju daje rodan-ion i s tragovima feri-iona, bezbojnost otopine je garancija za odsutnost željeza. — *Aluminijev salicilat*, dobiven otapanjem svježe taloženog aluminijeva hidroksida u zasićenoj otopini salicilne kiseline, bijel prašak, upotrebljava se u medicini pod imenom *salumin*. — *Aluminijevi sapuni*: Al-oleat se proizvodi djelovanjem natrijeva oleata na vrlo razrijedenu otopinu alaina. To je hladetinasta masa, netopljiva u vodi i alkoholu, topljiva u toplom eteru i petroleteru. Služi za zgušnjavanje mazivih ulja (dobivanje konsistentnih masti) i impregnaciju tkanina, papira i kože da postanu nepromočive. Na analogan se način dobiva i za iste svrhe se upotrebljava Al-palmitat. Služi također u industriji lakova i boja za matiranje, zgušnjavanje i kao sikativ, za zgušnjavanje benzina u bacačima plamena i nappalm-bombama. Al-stearat, fin bijel prah, netopljiv u vodi, topljiv u alkoholu, toplom benzinu, tetralinu, dekalinu, tetra-klorometanu, terpentinskom ulju i sl., povišuje viskozitet otapala za lakove i usporuje taloženje pigmenta u lak-bojama, dodaje se također lakovima i uljenim bojama radi matiranja. Služi i za proizvodnju konsistentnih masti i adstringentnih prašaka, dodaje

se cementu i betonu da postanu nepropusni za vodu. Al-linoleat i rezinat, tj. aluminijeve soli kiselina lanenog ulja i kolofonija, upotrebljavaju se također za impregniranje, ali prvenstveno kao sikativi u industriji boja i lakova i za matiranje. — *Za aluminijeve silikate i alumosilikate v. Silikati*. — *Aluminijev sulfid*, Al_2S_3 , bezbojne iglice svilenasta sjaja, nastaje kad se pare sumpora vode preko usijanog aluminija ili kad se zapali smjesa aluminija i sumpora. S vodom (već vlagom zraka) razvija sumporovodik, pa se stoga dodaje nekim smjesama za trovanje glodavaca u poljima i sl. (rodenticidima). — *Aluminijev tanat*, bazični, pod imenom *multanin* služi u medicini kao crijevni adstringens. — *Aluminijev tartarat*, $\text{Al}(\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_6)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, u prirodi se nalazi u likopodiju, proizvodi se otapanjem svježe taložena aluminijeva hidroksida u zasićenoj otopini vinske kiseline; služi u bojadisarstvu kao močilo.

Za organo-aluminijske spojeve v. *Alkilacija i Organo-metalni spojevi*.
R. Z. i R. Py.

ALUMINIJUM, tehnički metal koji je zbog svojih dragocjenih osobina za kratko vreme po proizvedenoj količini stao na drugo mesto među tehničkim metalima. Te su osobine aluminijuma: mala specifična težina, dobra provodljivost za električnu i toplotu, visoka reflektivnost za svetlost i zračenje, visoka čvrstoća njegovih legura i dobra otpornost prema atmosferi. Aluminijum i njegove legure upotrebljivi su i za livenje i za gnječenje, a mogu se i lako obrađivati uz skidanje strugotine. Zbog tih osobina aluminijum i lake legure upotrebljavaju se na široko za avione, automobile i kamione, za željezničke vagonne i u brodogradnji; dalje za električne provodnike, u domaćinstvu, naročito za sprave za kuvanje i pranje, za sudove i ambalažu i sl. O aluminijumu kao hemijskom elementu v. *Aluminijski spojevi*.

Historijat. Englez Humphry Davy pokušavao je oko 1807, ali bez uspeha, da iz „zemlje koju su nazivali *alumina* (prema lat. *alumen* alau) izdvoji metalni element čije je prisustvo u njoj pretpostavljao i koji je prema njoj nazvao *aluminum*. Tek 1825 uspeo je Danac Hans Ch. Ørsted izdvojiti malo nepoznatog metala iz njegova hloriga pomoću kalijum-amalgama. Nemač Friedrich Wöhler nastavio je 1827 Ørstedove eksperimente, ali tek 1845 uspeo je izdvojiti male kuglice duktilnog metala. Francuz Henri Sainte-Claire Deville izdvojio je električnom strujom 1854 iz dvojnog hloriga aluminijuma i natrijuma aluminijum u većim količinama, a slične uspehe imao je istovremeno i Nemač Robert Bunsen. Deville je zainteresirao za novi metal Napoleona III, koji je istraživanje finansijski pomogao. Na svetskoj izložbi 1855 „srebro iz gline“ predstavljeno je širokoj publici. Ste-Claire Deville je bio prvi koji je upotrebio kao rastvarač za aluminijum-oksidi mineral kriolit sa Groenlanda. Ste-Claire Deville i Le Chatelier našli su i *sinterni postupak* dobivanja aluminijum-oksida iz boksit.

Kad je Werner Siemens 1866 pronašao dinamo-mašinu, omogućena je upotreba struje proizvoljnog napona i jačine i time ubrzan napredak elektrometalurških postupaka. Godina 1886 smatra se za početak moderne aluminijumske industrije: tada su Francuz Paul T. Héroult i Amerikanac Charles M. Hall, nezavisno jedan od drugog, objavili postupak dobivanja aluminijuma elektrolitičkim putem iz rastopljenog rastvora aluminijum-oksida u kriolitu, postupak po kome se dobiva i danas sav aluminijum. Malo kasnije, 1889, objavio je Austrijanac F. J. Bayer mokri postupak izdvajanja aluminijum-oksida iz boksitom dejstvom kaustične sode. I taj postupak upotrebljava se sa nekim modifikacijama još i danas.

U narednim godinama proizvodnja aluminijuma brzo je rasla. Sagrađene su nove tvornice u Švajcarskoj, Nemačkoj i Vel. Britaniji. Aluminijumski lim za krovove, sude za kuvanje, liveni predmeti, delovi prvih aviona i dirizabla, delovi automobila itd. upotrebljavani su već početkom ovog veka.

Mala čvrstoća aluminijuma ograničavala je njegovu upotrebu. Ali naskoro su pronašli da se može postići mnogo veća čvrstoća dodavanjem drugih metala legiranjem. God. 1906 pronašao je Alfred Wilm leguru *duralumin*, koja može dostići čvrstoću čelika. Duralumin i slične legure omogućile su brzi razvoj avijacije. 1918 pronađene su legure Al-Cu-Ni, koje su čvrste u toplom stanju, i legure Al-Mg-Si. God. 1921 pronašao je Pacz eutektičnu leguru za livenje, *silumin*. *Alđrey*, čvrsta legura za električne vodove, upotrebljena je prvi put 1924.

Elektrolitičku rafinaciju aluminijuma pronašao je W. Hoopes oko 1901, a A. G. Betts je 1905 našao kako treba u ćeliji za rafinaciju regulisati specifičnu težinu anodne legure i elektrolita. Dobijen metal sadržava najmanje 99,99% Al, pa se upotrebljava za naročite svrhe.

U narednim decenijama postupci dobivanja, a naročito preradivanja dopunjavani su sve više, tako da je proizvodnja aluminijuma porasla od 7,3 kt u 1900 na 580 kt 1938. God. 1960 svetska proizvodnja aluminijuma premašila je 4,5 Mt.

Fizičke osobine. Aluminijum ima kristalnu strukturu površinski centrirane kocke. Odstojanje u mreži je $4,413 \cdot 10^{-8}$ cm, tvrdoća po Mohsovoj skali 2,9. Tehnički odn. trgovački aluminijum dobijen elektrolitičkim postupkom Héroult-Hall sadrži 99,0–99,9% Al, obično ~ 99,5%. Glavne primese su železo i silicijum; one dolaze iz aluminijum-oksida, anoda i elektrolita. Te primese nisu uvek štetne, jer čine aluminijum čvršćim. Elektrolitski rafinirani aluminijum, koji sadrži do 99,998% Al, a najmanje 99,990%, naziva se i *rafinal*. Najčišći aluminijum svetao je kao srebro, trgovački ima zbog primese železa i silicijuma malo modrikast odsev.

Fizičke osobine zavisne su donekle od stupnja čistoće metala i od načina obrade. *Specifična masa* najčistijeg aluminijuma je 2,698 g/cm³ (na 20°), a presovanog ili vučenog tehničkog alu-

minijuma 2,70...2,71 g/cm³. Liveni metal ima specifičnu masu 2,64, a tekući, na 700°, 2,37 g/cm³. Pri očvršćavanju se volumen metala smanji za 6,6%.

Tačka topljenja najčistijeg aluminijuma je 660,2°, a tehničkog ~ 658°. **Latentna toplota topljenja** je 94,6 cal/g za najčistiji, a 93 cal/g za tehnički aluminijum. Toplotna topljenja aluminijuma je mnogo veća od te toplote mnogih drugih metala, npr. bakra, cinka i olova. **Specifična toplota** na 20° je 0,214 cal/g°C, na 100° je 0,223 cal/g°C, srednja specifična toplota za interval 0...657° je 0,25 cal/g°C.

Tačka ključanja aluminijuma je 2270°, **molarna toplota isparavanja** 75 630 cal/mol.

Toplotna provodljivost na 0° je 0,50, na 100° 0,51, a na 200° 0,52 cal/cm sek °C. (Toplotna provodljivost aluminijuma tri puta je veća nego toplotna provodljivost čelika, ali iznosi samo polovinu provodljivosti bakra.)

Linearni koeficijent toplotnog rastezanja je za interval 20...100° 24,0, između 20 i 300° 25,8, a između 20 i 500° 27,9 · 10⁻⁶/°C.

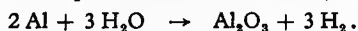
Električna provodljivost najčistijeg meko žarenog aluminijuma (rafinala) je 37,82...37,87, tvrdog 37,6 m/Ω mm²; električka provodljivost aluminijuma sa 99,5% Al žarenog na meko na 300 je 36...36,5, tvrdo valjanog ili vučenog 35...35,5, a livenog 33 m/Ω mm². (Električka provodljivost E-bakra žarenog na meko je 58...59 m/Ω mm².)

Čvrstoća na kidanje mekanog aluminijuma (99,5%) je 7...9, a tvrdog 13...18 kp/mm². Istezanje mekanog 35...22%, a tvrdog 6...4%.

Tvrdoća po Brinellu mekanog je 18...23, a tvrdog 35...40 kp/mm². **Elektrohemijski ekvivalent** je 0,3354 g/Ah, **normalni elektro-hemijski potencijal** -1,66 V. To znači da aluminijum u naponskom redu stoji između mangana (-1,05 V) i magnezijuma (-2,38 V).

Hemijske osobine. Iako je aluminijum neplemenit metal, vrlo je otporan prema atmosferi i mnogim hemijskim sredstvima. Uzrok postojnosti je film oksida koji se stvara odmah na svežoj površini čvrstog aluminijuma i štiti ga od uticaja atmosfere. Iako je debljina tog filma minimalna, on hermetički pokriva metal i štiti ga od dalje oksidacije. I pri topljenju aluminijuma stvara se na površini oksidna korica koja ga štiti od jake oksidacije. Zaštitni oksidni film stvara se i na aluminijumskim legurama i na drugim legurama koje sadrže aluminijum.

Vodonik se dobro rastvara u tekućem aluminijumu, a delimično i u čvrstom (rastvorljivost drugih gasova: azota, kiseonika, ugljeničnih oksida i sumpornog dioksida je minimalna). Aluminijum može primiti vodonik i iz vlage sadržane u gasovima loženja. Vлага se raspada u tekućem aluminijumu po reakciji:



Iako je kompaktni aluminijum na vazduhu postojan, aluminijumska prašina oksidiše se već na sobnoj temperaturi vlažnim vazduhom. Pri tome se oslobađa velika količina toplote i metalna prašina se može upaliti, a zbog vodonika koji nastaje dolazi i do eksplozija.

Hlor i ostali halogeni reaguju direktno s aluminijumom. Stvara se hlorid AlCl₃ i mnogo toplote. Prisutnost vlage ubrzava ovu reakciju. Uvođenjem hlora u tekući aluminijum stvara se hlorid, koji se isparava. Sličan uticaj kao hlor ima i gas HCl, naročito uz prisutnost vlage i na povišenoj temperaturi.

Ugljen-monoksid i ugljen-dioksid reaguju s aluminijumom tek na visokim temperaturama; stvaraju se aluminijum-oksidi i aluminijum-karbid Al₄C₃ ili ugljenik.

Amonijak deluje tako da oksidni film odeblja i time se pojača otpornost metala prema koroziji.

Sumpor i njegovi spojevi SO₂, SO₃ i H₂S sa aluminijumom do temperature oko 800° uopšte ne reaguju, a na višim temperaturama može se stvoriti nešto Al₂S₃.

Ugljenik je u tekućem aluminijumu vrlo malo rastvorljiv. Na visokim temperaturama može se stvoriti karbid Al₄C₃.

Rastvorljivost aluminijuma je velika u natrijumskoj ili kalijumskoj lužini, kao i u sonoj i fluorovodoničnoj kiselini. Vrlo postojeći su aluminijum i neke njegove legure prema mnogim organskim kiselinama i drugim spojevima, zbog čega se upotrebljavaju u prehrambenoj industriji za ambalažu i sudove.

PROIZVODNJA ALUMINIJUMA

Kako zbog fizičko-hemijskih razloga nije moguća direktna redukcija u boksitu sadržanog aluminijum-oksida u aluminijum

dovoljne čistoće, danas se tehničko dobivanje komercijalnog aluminijuma izvodi u dve faze i to:

a) Odvajanje dovoljno čistog aluminijum-oksida (*glinice*) iz prirodnih sirovina podesnim postupcima, pri čemu se danas pretežno primenjuje *Bayerov postupak*.

b) Elektroliza tako dobivenog aluminijum-oksida u rastopljenom kriolitu po *postupku Héroulta i Halla*.

Za proizvodnju aluminijuma po spomenutim postupcima potrebne su sirovine, pomoćni materijali i energija.

Kao *sirovina* za proizvodnju čiste glinice u principu se može upotrebiti svaka stena koja sadrži aluminijum-oksidi, ali budući da u svetu ima dovoljno lako pristupačne rude bogate aluminijum-oksidiom, boksita, ekonomičnost i rentabilnost prerade u sadašnjim odnosima svode izbor sirovina za dobivanje glinice gotovo isključivo na tu rudu, sa strogim ograničenjem u sastavu, naročito u pogledu odnosa Al₂O₃ i SiO₂. *Pomoćni materijali* su za proizvodnju glinice uglavnom kaustična soda (odn. kalcinirana soda i kreč), a za elektrolizu ugljene elektrode (odn. sirovine od kojih se proizvode: ugljeni materijali i smola) i fluorni spojevi (kriolit i aluminijum-fluorid). Osim toga su za obe faze proizvodnje potrebne znatne količine vode, tehnološke i za hlađenje. *Energija* se troši kao toplotna, u obliku pregrejane pare dobivene sagoravanjem jeftinog goriva i u obliku generatorskog gasa ili mazuta, i električka za pogon mašina u prvoj fazi proizvodnje a za elektrolizu u drugoj.

Boksit je stena ili smeša minerala nastala u prirodi vremeniskim trošenjem primarnih eruptivnih ili sedimentnih stena kao granita, bazalta, glinenastih vapnenaca itd. Te stene sadržavale su prosečno ~ 15% Al₂O₃ u obliku aluminosilikata; izvrnute dugotrajnom procesu vremeniskog trošenja gubile su postepeno manje rezistentne sastojke kao okside silicijuma, magnezijuma, natrijuma i kalijuma, ostavljajući ostatak bogatiji na oksidima aluminijuma, čelika i titana od primarnih stena, tj. sa sadržajem od 35...50% i više Al₂O₃. Taj se ostatak sedimentirao ili neposredno ispod površine zemlje, ili u većim i manjim dubinama, gde je bio i izložen različitim uslovima pritiska i temperature, što je imalo uticaja na njegovu mineralošku strukturu. Hemijski i mineraloški sastav takvog ostatka kreće se unutar vrlo širokih granica, što zavisi o sastavu primarnih stena, trajnosti i intenzitetu vremeniskog trošenja i o uslovima kojima je nastali sediment bio izložen, zbog čega se znatno razlikuju po sastavu i strukturi npr. tropski površinski *lateriti* od boksita u užem smislu. Ime boksit potiče od gradića Les Baux u južnoj Francuskoj, gde je ta stena prvi put pronađena.

Aluminijum-oksidi u boksitu pojavljuju se u tri hidratizovane mineralne vrste, kao hidrargilit, bemit i dijaspor (v. *Aluminijevi spojevi*). Oni se u svojim svojstvima znatno razlikuju, kako to pokazuje ova tabela:

Naziv	Hidrargilit	Bemit	Dijaspor
Sastav	Al ₂ O ₃ · 3H ₂ O	Al ₂ O ₃ · H ₂ O	Al ₂ O ₃ · H ₂ O
Kristalni sistem	monoklinski	rompski	rompski
Relativna gustina	2,42	3,01	3,44
Temperatura dehidracije	150°	350°	450°
Dehidracijom nastaje	γ-Al ₂ O ₃	γ-Al ₂ O ₃	α-Al ₂ O ₃
Topljivost u lužini koncentracije 100 g/l Na ₂ O na 125°C, Al ₂ O ₃ g/l	128	54	netopljivo
Sadržaj Al ₂ O ₃ %	65,4	85	85

Ove hidratizovane oblike aluminijum-oksida u boksitima prate različite količine primesa poreklom od izvornih stena, kao oksidi čelika, titana, silicijuma, kalcijuma, a u manjim količinama mangana, vanadijuma, galijuma, fosfora itd. Od količine tih primesa u boksitu zavise svojstva boksita, kao boja, tvrdoća i upotrebljivost za preradu.

Silicijum-dioksid se pojavljuje u boksitu slobodan kao kremen (kvarc), ili vezan u kaolinitu Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O, ili u drugim silikatima. Slobodni SiO₂ je pri preradi boksita po Bayerovu postupku manje reaktivan nego vezani u kaolinitu. Vezani SiO₂ reagira s kaustičnom sodom i rastvorenim aluminijum-oksidiom u aluminatnoj lužini dajući nerastvorljiv spoj približnog sastava 2Na₂O · 2Al₂O₃ · 3SiO₂, koji se uklanja iz procesa zajedno sa drugim nerastvorljivim oksidima u *crvenom mulju* i time

izaziva gubitak na kaustičnoj sodi i aluminijum-oksidu. Sadržaj SiO_2 u boksitu jako varira kako unutar tako i između pojedinih nalazišta. Zbog gubitaka sode i aluminijum-oksida koji nastaju reakcijom u autoklavu s reaktivnim SiO_2 , ograničava se njegov sadržaj danas u komercijalnom boksitu na 5 do 6%. *Železo* se pojavljuje u obliku limonita $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, getitita (göthita) $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, siderita FeCO_3 i hematita Fe_2O_3 , a u manjem opsegu katkada dolazi kao pirit, ili ulazi u sastav titanskih minerala. Željezni minerali ostaju pri preradi boksita zbog svoje nerastvorljivosti u lužini nepromenjeni i nisu po sebi štetni sastojci boksita, ali njihova količina pri preradi boksita utiče na gubitak kaustične sode u crvenom mulju nakon pranja, a s druge strane predstavlja važan faktor u određivanju veličine postrojenja za odvajanje i pranje crvenog mulja. Osim količine železnih minerala prisutnih u boksitu, presudan uticaj na rentabilnost prerade ima i stepen disperziteta ovih minerala u boksitu, jer o tome u velikoj mjeri zavisi sposobnost koaguliranja i dekantiranja crvenog mulja. *Titan* se pojavljuje općenito u obliku rutila TiO_2 , a u manjim količinama kao ilmenit $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$, leukoksen $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$, itd. Pod normalnim uslovima prerade boksita u autoklavima je nerastvorljiv i uklanja se iz procesa s crvenim muljem. Samo lužine visoke koncentracije primetno ga rastvaraju. *Kalcijum* sadrže boksiti koji potiču od vapnenačkih stena; obično je njegov sadržaj ispod 0,1%, a katkada doseže 1–2%. Nerastvorljiv je i izlazi iz procesa s crvenim muljem. Gotovo svi boksiti sadrže u različitim količinama *organske materije* rastvorljive u lužini, zbog čega ova potamni, a njihovom oksidacijom nastaje ugljen-dioksid, koji inaktivira ekvivalentni deo slobodne kaustične sode stvarajući natrijum-karbonat. Umerenim kalciniranjem boksita do 300° pre raščinjavanja razara se jedan deo tih materija, a rezistentni deo prelazi u lužinu. *Vanadijum* delimično je rastvorljiv u lužini u toku raščinjavanja (30–70%); rastvorena količina zavisi o mineraloškom sastavu.

Boksiti se jako razlikuju po boji; ima boksita svih boja od bele čistog hidrargilita, preko žute do tamnosmeđe boje boksita u kojima je sadržaj železnih minerala visok. I tvrdoća boksita vrlo je različita; hidrargilitni su boksiti najmekši a diasporni najtvrdi. Evropski boksiti su nastali trošenjem karbonatnih stena i pokazuju hidrargilitno-bemitni sastav, tropski su boksiti u Aziji i Americi nastali trošenjem silikatnih stena i sadrže po pravilu kao aluminijumsku komponentu samo hidrargilit. Danas su otkrivena mnoga ležišta boksita, te se ceni da su mu rezerve reda veličine od jedne milijarde tona, što je dovoljno za proizvodnju aluminijuma kroz više od 100 godina. Najveća poznata nalazišta su u Južnoj Americi (Surinam i Britanska Gijana), zatim Jamaica, USA, Francuska, Mađarska, Jugoslavija, Indonezija, SSSR, Grčka itd. Osim za proizvodnju glinice boksit se upotrebljava i za druge svrhe, kao za proizvodnju vatrootalnih materijala, cementa i sl.

Kvalitet boksita zavisi od sadržaja Al_2O_3 i ostalih komponenta a naročito od sadržaja SiO_2 . I mineraloški sastav aluminijumske komponente ima velik uticaj na preradljivost boksita, po čemu se i određuju uslovi pri njegovoj preradi u glinicu. Sadržaj Al_2O_3 varira od 42 do 65%; Fe_2O_3 nazočan je u evropskim boksitima u količinama od 12 do 28%, SiO_2 od 1 do 6%, TiO_2 od 1 do 4%, CaO manje od 1%, a gubitak žarenja (konstitucionalna voda) iznosi 10–30%. Pored toga u boksitu se nalaze i manje količine V_2O_5 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , P_2O_5 , Ga_2O_3 , reda veličine 0,01 do 0,20%. Jedna tipična analiza boksita iz Britanske Gijane: Al_2O_3 61,12%, SiO_2 5,02%, Fe_2O_3 1,50%, TiO_2 2,50%; gubitak žarenjem 30,02%.

U tab. 1 su analize nekih jugoslovenskih boksita.

Tablica 1
ANALIZE JUGOSLOVENSkih BOKSITA

	Drniš %	Bosanska Krupa %	Istra %	Mostar %	Nikšić %
Al_2O_3	52,21	62,2	54,97	56,6	58,66
Fe_2O_3	22,85	18,3	27,77	25,2	20,17
SiO_2	2,20	2,6	2,97	2,2	3,44
TiO_2	3,53	3,3	2,85	3,2	3,05
CaO	0,28	0,5	0,22	0,3	0,23
gubitak žarenjem	18,42	13,1	11,18	12,5	13,54
V_2O_5	0,16				0,12
Cr_2O_3	0,08				0,12
Mn_2O_3	0,13				0,49

Svetska proizvodnja boksita je u stalnom porastu: 1938 bila je 4 Mt, 1948 preko 8 Mt, 1952 godine 12 Mt, a 1960 preko 27 Mt. Od toga Surinam i Britanska Gijana dale su 9,1 Mt, Jamaica 5,8 Mt, Francuska i USA po 2,0 Mt, SSSR 3,8 Mt, Gvineja 1,4 Mt Mađarska 1,18 Mt Jugoslavija 1,03 Mt.

Jugoslovenska proizvodnja boksita bila je 1939 718 594 t, 1946 70 562 t, 1948 143 950 t, 1950 206 061 t, 1952 577 196 t, 1954 680 597 t, 1956 884 418 t, 1959 815 000 t, 1962 1 314 000 t.

Potrošnja boksita za 1 t glinice iznosi 2–3 t, odnosno za jednu tonu aluminija 4–6 t.

Druge sirovine. Glinica se može proizvoditi i iz nekih drugih ruda odnosno minerala, kao što su: alunit, leucit, nefelin, kaolinit i neke gline koje sadrže kaolinit, ali su postupci za preradu ovih sirovina u glinicu redovito mnogo skuplji od prerade boksita.

Elektrode. Aluminijum se dobiva elektrolizom glinice u elektrolitičkim pećima, koje se sastoje od ugljenih elektroda: anode i katode. Katodni deo peći koristan oblika sastoji se od ugljenih blokova, koji su međusobno povezani specijalnom ugljenom masom za nabijanje. Anodu tvore ili prethodno pečeni ugljeni blokovi ili kontinuirana Söderbergova elektroda. Elektrode se izrađuju od najčišćih ugljenih materijala, kao petrolnog koksa, dobivenog iz ostatka od rafinacije nafte, ili smolnog koksa, koji se dobiva koksovanjem ostatka nakon destilacije katrana od kamenog uglja. Ove dve sirovine se prvenstveno upotrebljavaju za izradu anoda, kojima sadržaj pepela sme biti najviše 1%, jer u pepelu sadržane nečistoće, kao oksidi železa i silicijuma, prelaze u procesu elektrolize glinice u aluminijum. Kao vezivo upotrebljava se u obe vrste anoda katranska smola strogo definiranih osobina i karakteristika. Za izradu katoda postoji širi izbor ugljenih sirovina, jer se dopušta veći sadržaj pepela (3–5%), te stoga pored navedenih sirovina dolazi u obzir antracit, metalurški koks i sl. Na kvalitet ugljenih elektroda postavljaju se vrlo oštri zahtevi, jer su u procesu elektrolize izvrnute vrlo teškim uslovima (visokoj temperaturi i agresivnom rastopljenom kriolitu). Pri elektrolizi ugljene anode sagorevaju s kisikom oslobođenim iz glinice i taj se potrošak nadoknađuje bilo anodnom masom (smešom petrolnog ili smolnog koksa i katranske smole) Söderbergovih elektroda, bilo stavljanjem novih pečenih diskontinuiranih anoda.

Proizvodnjom pečenih ugljenih elektroda bave se specijalizovane tvornice, anodna masa se može proizvoditi redovno u sklopu samih elektroliza glinice. U Jugoslaviji izrađuju se sva tri tipa elektrodnih materijala (katodni blokovi, anodna masa i anodni pečeni blokovi), kao i ugljene mase za nabijanje odnosno povezivanje katodnih blokova, u Tvornici elektroda i ferolegura u Šibeniku. Tvornica glinice i aluminijuma i Kidričevu u novije vreme izrađuje anodnu masu za svoje potrebe.

Potrošak anodne mase ili pečenih anodnih blokova kreće se od 520 do 600 kg po toni proizvedenog aluminijuma. Katodni blokovi dobrog kvaliteta i uz normalan rad elektrolize traju 5–7 godina.

Fluorne soli. Kupka pri elektrolizi glinice nastaje topljenjem kriolita na temperaturi oko 950°, a njoj se dodaje prema potrebi kalcijum-fluorida CaF_2 , aluminijum-fluorida AlF_3 ili natrijum-fluorida NaF , da bi se postigao traženi fluiditet kupke i potrebni molarni odnos $\text{NaF} : \text{AlF}_3$. Kriolit $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ se u prirodi jedino pojavljuje na Grenlandu u vrlo čistom stanju s malo primjesa oksida silicijuma i železa. Danas se većinom upotrebljava sintetski kriolit, koji se dobiva iz fluorita CaF_2 ili preradom nusprodukata koji se dobiju pri proizvodnji veštačkih gnojiva iz fosforita (v. Fluor).

Potrošak kriolita mnogo zavisi o tipu peći i eventualnoj regeneraciji fluora iz dimnih plinova elektrolize i kreće se od 30 do 60 kg za 1 tonu aluminija. Potrošak AlF_3 iznosi 10–25 kg, a zavisi o «kiselosti» upotrebljene kupelji i radnoj temperaturi peći.

Električna energija. U proizvodnji glinice električna energija u obliku izmjenične struje troši se za vršenje mehaničkog rada za pogon pojedinih mašina i uređaja. Potrošak u pogonima po Bayerovu postupku iznosi za tonu glinice 300–350 kWh.

Za elektrolizu glinice u aluminijum potrebne su velike količine električne energije u obliku istosmerne struje, i taj faktor odlučuje o lokaciji jedne elektrolize. Elektrolitičke peći u mo-

dernoj zavarenoj izvedbi električnih provodnika troše 15,5 do 17 MWh po toni aluminijuma, nasuprot starijim koje su trošile i preko 22 MWh.

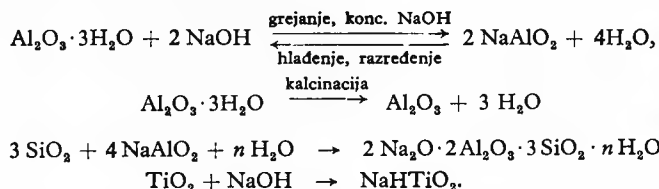
Potrebnu istosmernu struju proizvode različiti uređaji pretvaranjem ili ispravljanjem trofazne izmenične struje. Ranije su se upotrebljavali motor-generatori sastavljeni od jednog sinhronog motora na pogon izmeničnom strujom i jednog ili dva generatora istosmerne struje na zajedničkoj osovini. U novije vreme primenjuju se gotovo isključivo živini ispravljači, koji jednofaznu ili višefaznu izmeničnu struju ispravljaju u istosmernu sa stepenom iskorišćenja do 94%. Ekonomičniji od njih u širokom području napona su kontakti pretvarači. U najnovije vreme došli su u primenu i silicijumski ispravljači sa stepenom korisnog dejstva do 96% i više.

Toplinska energija. Za proizvodnju glinice potrebna je toplinska energija u obliku pregrejanog pare i generatorskog gasa ili mazuta. Parom se zagrevaju autoklavi i uparivači, a generatorski gas ili mazut troši se za kalciniranje glinice i eventualno sušenje boksita. Za jednu tonu glinice po Bayerovu postupku treba tri do sedam tona pare i ~ 2 miliona kcal u obliku generatorskog gasa ili mazuta, što odgovara 2 do 3 tone ugljena srednje kalorične vrednosti od 3500 kcal/kg. Stoga gorivo također predstavlja jedan od važnih faktora pri izboru lokacije fabrike glinice. Potrebna para proizvodi se u parnim kotlovima, a gas u gasnim generatorima.

Dobivanje glinice

Danas se glinica proizvodi iz boksita gotovo isključivo mokrim alkalijskim postupkom prema Bayeru. U ograničenoj meri se upotrebljavaju postupak sinterovanja po Le Chatelieru i elektrotermijski postupak po Pedersenju; drugi postupci za prerađivanje boksita, a isto tako i kiseli postupci za prerađivanje sirovine s većim sadržajem kremene kiseline, danas se ne upotrebljavaju.

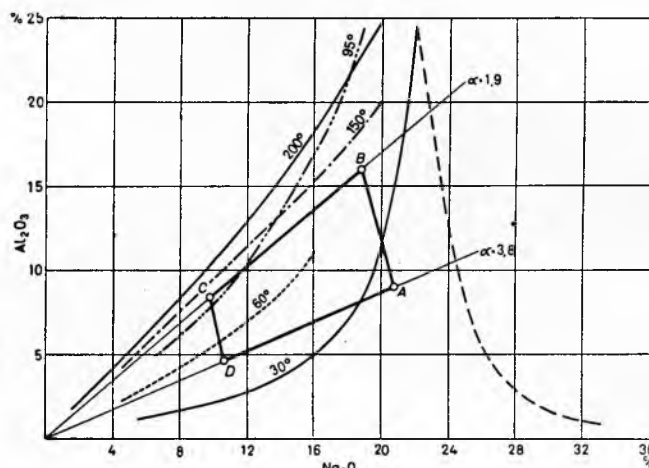
Bayerov postupak osniva se u načelu na svojstvu aluminijum-hidroksida da se — za razliku od drugih sastojina boksita — rastvara u vrućem rastvoru natrijum-hidroksida dajući aluminatnu lužinu iz koje on opet ispada ako se aluminatna lužina ohladi i — po potrebi — razredi (v. *Aluminijevi spojevi*). Prema tome, deluje li se na boksit vrućim rastvorom natrijum-hidroksida ili aluminatnom lužinom s malim sadržajem aluminijum-oksida, rastvorit će se u njoj uglavnom samo aluminijum-oksidi i hidrati; željezo-hidroksid i željezo-oksidi ne rastvaraju se u alkalijskim lužinama, titan-dioksidi daju s njima nerastvorljive alkalijske metatitanate, a kremena kiselina daje s njima i s aluminijum-hidroksidom nerastvorljive aluminosilikate. Dobivena aluminatna lužina, dok je još vruća i stoga dosta stabilna, može se dekantacijom i filtracijom odvojiti od nerastvorenog ostatka, tzv. *crvenog mulja*; kad se bistra lužina posle toga ohladi i razredi, cepi dodatkom kristala aluminijum-hidroksida i meša, iz nje — razmerno sporo — ispada aluminijum-hidroksid, koji filtriran, ispran i kalciniran daje glinicu. Bayerov je postupak prema napred rečenom karakterisan ovim reakcijama:



Matični lug nakon filtracije izlučenog aluminijum-hidroksida upari se na potrebnu koncentraciju i vraća u proces za rastvaranje novih količina boksita.

Sl. 1 shematski prikazuje ciklus Bayerovog procesa u dijagramu aluminatnih lužina (v. *Aluminijevi spojevi*). Tačka A prikazuje sastav povratne aluminatne lužine, tačka B sastav lužine kad se u njoj rastvorio aluminijum-hidroksid iz boksita. Kako se vidi, temperaturu lužine treba povišati da bi se u njoj mogao rastvoriti aluminijum-hidroksid, i to tim više što je manja koncentracija NaOH u povratnoj lužini. Tačka C prikazuje sastav aluminatne lužine nakon razredjenja (budući da se razredjenjem odnos $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ne menja, tačke B i C leže na istoj liniji konstantnog kaustičnog modula), po liniji CD zbiva se izlučivanje

hidrata iz aluminatne lužine. Kako se vidi, da bi tačka D došla u područje prezasićenih lužina, temperaturu lužine treba sniziti. Linija DA prikazuje uparivanje lužine do početne koncentracije, bez promene kaustičnog modula.



Sl. 1. Bayerov postupak u dijagramu aluminatnih lužina

Koncentracija natrijumske lužine i temperatura koje se moraju primeniti da bi se postiglo rastvaranje aluminijum-hidroksida iz boksita u ekonomski povoljnim količinama i vremenima zavisi od vrste boksita: hidrargilitni boksiti mogu se prerađivati razmerno razređenom lužinom i na temperaturi oko 100°, bemitni boksiti zahtevaju koncentrovanije lužine i znatno više temperature, diasporni boksiti ne mogu se Bayerovim postupkom ekonomski prerađivati. Međutim, rastvorljivost određenog boksita nije jednoznačno određena njegovim mineraloškim sastavom, već zavisi i od njegove strukture i drugih okolnosti, pa se može sa sigurnošću utvrditi samo pokusima. Dok se u mnogim starijim fabrikama za evropske boksite upotrebljava redovito lužina koncentracije ~ 300 g/l Na_2O i temperature od 180–190°, danas je tendencija da se upotrebe razređena lužina (od 160 g/l Na_2O naviše) i znatno više temperature. Time se nešto povećava porošk toplinske energije za rastvaranje boksita, ali ni izdaleka ne toliko koliko se uštedi topline usled toga što povratnu lužinu ne treba toliko uparivati.

Sl. 2 prikazuje shemu Bayerovog postupka. Boksit se drobi, suši i samelje u fino brašno. Samljeveni boksit se pomeša s povratnom lužinom i pusti se da u autoklavima reagira na povišenoj temperaturi. Autoklavna pulpa se zatim razredi da bi se nastali crveni mulj mogao odvojiti od aluminatne lužine dekantacijom i filtracijom. Dekantacijom izbistrena aluminatna lužina se ohladi i puni u dekompozere u kojima se izluči aluminijum-hidroksid. Nakon filtracije hidroksida ovaj se kalcinacijom prevede u glinicu a matična lužina se koncentruje i vraća u proces.

Sl. 2. Shema Bayerovog postupka proizvodnje glinice

Za drobljenje sirovog boksita upotrebljavaju se čeljusne, valjkaste i konusne drobilice u kojima se boksit zdrobi na veličinu zrna od 25 do 30 mm. Za sušenje boksita upotrebljavaju se rotacione peći u kojima se na 300–400°C istera sva gruba vlaga, deo vezane vode i pretežni deo organskih materija. Osušeni boksit se melje u kugličnim mlinovima na finoću mliva ispod 0,2 mm.

U diskontinuiranom postupku po Bayeru odmere se određene količine boksitnog mliva i guste povratne lužine prema zapremini autoklava. U autoklavima se smeša rastvara (raščinja) zagrevanjem pregrejanom parom, koja cirkulira kroz cevi ili dvostruki plašt autoklava uz stalno mešanje. Uslovi temperature, odnosno pritiska i koncentracije lužine određuju se prema vrsti boksita i kreću

se od 6 do 15 at (175 do 210°). Rezultirajuća autoklavna lužina ima molarni odnos $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,6...1,8.

Posle završene reakcije autoklavna pulpa se preko ekspanzione posude isprazni, delomično *ohladi* i *razredi* vrućom retkom lužinom koja potiče od pranja crvenog mulja i hidrata, uz eventualni dodatak matične lužine u cilju korekcije molarnog odnosa $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ na 1,8. Razređena pulpa se dovodi u dekantatore u kojima se crveni mulj *istaloži* i *zgsusne*. Zgsusnuti crveni mulj se zatim *ispire* u bateriji protustrujnih dekantatora, ili se nakon prethodnog pranja u dekantatoru filtruje i do kraja ispere u filterima sistema Kelly. Oprani mulj se kao otpadni produkt deponuje na otvorenom.

Crveni mulj sadrži (osušen) 53...60% Fe_2O_3 , 13...22% Al_2O_3 , 6...9% TiO_2 , 4...6% Na_2O i 3...7% SiO_2 .

Pretok tzv. proizvodnog dekantatora, tj. bistra aluminatna lužina, prolazi još kroz filtere za uklanjanje fino suspendovanog crvenog mulja i nakon toga prolazi kroz toplinske izmenjivače (ranije vakuumske hladionike), u kojima se temperatura snizi od 90 na 60°. Ohlađena aluminatna lužina se odvodi u *dekompozere*, u kojima se uz dodatak odgovarajuće količine ranije proizvedenog hidrata («cepiva») meša 4...5 dana. U toku tog mešanja izlučuje se iz aluminatne lužine aluminijum-hidroksid, usled čega molarni odnos $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ postepeno poraste na ~ 3,6. Dekompozeri su velike otvorene posude visine 10...20 m i zapremine do 1000 m³. Mešanje u dekompozerima izvodi se vertikalnim mešalicama ili u novije vreme vazduhom. Dekompozeri danas rade i kontinuirano u sastavu baterija sa 8...10 dekompozera.

Suspenzija izlučenog aluminijum-hidroksida u lužini *filtruje* se i *pere* na rotacionim vakuum-filterima. Dobiveni hidrat sadrži još ~ 0,05% SiO_2 + Fe_2O_3 , do 0,5% Na_2O i 10 do 15% grube vlage. Ostalo je aluminijum-hidroksid.

Kalcinacija se vrši u rotacionim pećima na temperaturi iznad 1200°C. To su ležeci cilindri dužine do 100 m i prečnika do 4 m, obloženi vatrostalnim opekama, a lože se generatorskim gasom ili mazutom. Užarena glinica hladi se na izlazu iz kalcinatorske peći u hladioniku-rekuperatoru vazduhom, koji se time predgreje i služi za sagorevanje goriva. Onaj deo hidrata odnosno gline koji izlazi iz peći kao prah taloži se u ciklonu i elektrofilteru i vraća se na kalcinovanje.

Matična lužina profiltrovana na rotacionim filterima *uparava* se u vakuum-otparivačima, gde se ispari sva voda koja je dodana ranije pri razređivanju autoklavne pulpe. Na taj način dobije se ponovo gusta lužina sposobna za rastvaranje u autoklavima.

Ovaj diskontinuirani Bayerov postupak upotrebljavaju u našoj zemlji preduzeća Moste (Ljubljana) i Lozovac (Šibenik).

U modernim tvornicama glinice, koje se danas redovito ne grade za proizvodnju manju od 100 000 t/god., raščinjavanje se boksita vrši *kontinuirano*. Boksit se drobi na zrno ispod 5 mm i u kugličnim se mlinovima uz dodatak jednog dela guste lužine mokro melje na veličinu zrna ispod 1 mm. Dobivenoj suspenziji boksita doda se ostatak guste lužine i onda se ona pumpama tera kroz niz vertikalnih autoklava s mešalicama, u kojima joj temperatura naraste postepeno do 230°. Na izlazu iz autoklava pulpa prolazi kroz više stepena ekspanzije, pri čemu se ohladi na ~ 110°. Dalji postupak jednak je kao pri Bayerovu postupku s diskontinuiranim raščinjavanjem. Kontinuiranim se postupkom bolje iskorištava autoklavni prostor, a postizavaju se i znatne uštede toplote: potrošak pare za raščinjavanje smanjuje se, u poređenju s diskontinuiranim postupkom, od ~ 3 na ~ 1,5 tona pare na tonu proizvedene gline.

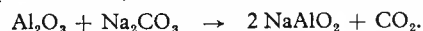
Bayerovim postupkom dobiva se glinica relativno visoke čistoće; sadržaj onečišćenja iznosi, u procentima: SiO_2 0,02...0,04, Fe_2O_3 0,01...0,04, TiO_2 0,003...0,010, P_2O_5 0,002...0,008, V_2O_5 0,001...0,005, Cr_2O_3 0,001...0,003, ZnO 0,003...0,020.

Postupak s tornjevima patentovali su 1938 W. Fulda i R. Wittig; on se može definisati kao polukontinuirani Bayerov postupak. Prvi put je bio uveden u fabrici Lünen (Vestfalija), gde je od godine 1941 do 1944 po tom postupku prerađeno 320 kt boksita. Danas po njemu radi jedino fabrika gline u Kidričevu (NR Slovenija), ali će i ona nakon rekonstrukcije preći na potpuno kontinuirani postupak.

Osnovna je razlika ovog postupka prema normalnom Bayerovom postupku u tome da se komadi prethodno kalciniranog bo-

ksita pune u visoke autoklave (tornjeve), kroz koje cirkulira rastvor aluminatne lužine bez ikakvog mehaničkog mešanja. U boksitu sadržani aluminijum-oksidi postepeno se rastvara prelazeći u aluminatnu lužinu, a u tornjevima zaostaje čvrsti skelet sastava kao crveni mulj. Aluminatna lužina se dalje obrađuje kao u normalnom Bayerovu postupku. Zrna boksita kojima se pune tornjevi imaju veličinu do 25 mm, koncentracija lužine za rastvaranje je 180 do 200 g/l Na_2O , pritisak do 20 at. Tornjevi su postavljeni u serije od 4 tornja, u kojima se vrši protustrujno izluživanje boksita. Svaka dva dana izdvoji se jedan toranj sa izluženim skeletom, isprazni i ponovo puni komadima boksita. Sitnu boksitnu prašinu pre punjenja u tornjeve ili treba briketirati, ili se ona prerađuje drugim postupcima, npr. sinterovanjem. Potrošak pare je niži nego u diskontinuiranu Bayerovu postupku, ali su gubici Al_2O_3 u crvenom mulju veći. Teorijski bi načelna prednost ovog postupka prema Bayerovom bila u tome da se zaobilazi dekantiranje i pranje crvenog mulja, koje po opsegu uređaja znatno opterećuje Bayerov postupak.

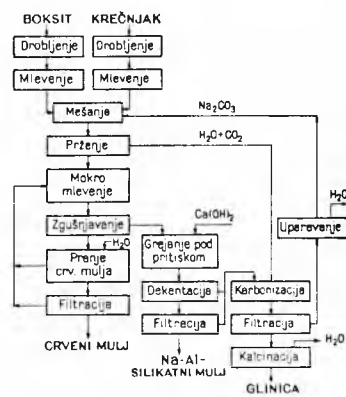
Sinter-postupak pronašao je 1873 Le Chatelier. Prženjem boksita s kalciniranom sodom na 1200° nastaje čvrsti natrijum-aluminat prema reakciji:



Radi uštede sode pri preradi boksita sa više SiO_2 , dodaje se vapnenac. Shemu sinter-postupka prikazuje sl. 3. Sve tri komponente se sitno samelju i

prže u rotacionim pećima loženima gasom ili mazutom. Prženjem nastali CaO i Na_2O reaguju sa SiO_2 i Al_2O_3 , pri čemu se oslobađa mnogo CO_2 , koji odlazi sa sagorevnim gasovima.

Sinterovana smeša se po ohlađenju melje uz dodatak razređenog rastvora kaustične sode i vruće vode od pranja crvenog mulja, pri čemu se natrijum-aluminat rastvara, a železo-hidroksid, natrijum-titanat, kalcijum-silikat i natrijum-silikat ostaju nerastvoreni. Dekantovanjem i filtriranjem se odvoji crveni mulj, a bi-



Sl. 3. Shema sinter-postupka proizvodnje gline

stru lužinu treba osloboditi otopljenog SiO_2 . Ovo se izvodi u autoklavima uz dodatak vapnenog mleka pod pritiskom od 3...4 at. Nastali beli mulj natrijum-alumosilikata se odekantuje i ofiltruje. Iz dobivene aluminatne lužine se najpre kao i u Bayerovu postupku taloži jedan deo aluminijum-hidroksida taloženjem i mešanjem; po ofiltriranju tog hidroksida se lužina vodi u karbonizatore, gdje se u nju uvode očišćeni gasovi od kalcinacije (sa najmanje 12% CO_2). Pri tom natrijum-hidroksid prelazi u karbonat, a iz rastvora se izluči ostatak u njemu sadržanog aluminijum-hidroksida. Glinica dobivena kalcinovanjem hidrata taloženog mešanjem aluminatne lužine istog je kvaliteta kao Bayerova; od hidrata taloženog karbonizacijom lužine dobiva se glinica slabijeg kvaliteta, sa većim sadržajem SiO_2 . Iz karbonizirane lužine se nakon odvajanja hidrata regeneruje soda i opet upotrebljava za sinterovanje.

Postupak sinterovanja pogodan je za preradu boksita koji sadržavaju dijaspora i veći sadržaj kremene kiseline; on daje crveni mulj koji je dragocen nusprodukt, jer služi kao masa za čišćenje rasvetnog i sinteznog gasa od sumpora (*Lauta-masa*). Ali budući da je skuplji od Bayerova postupka, on se retko upotrebljava sam, već samo u kombinaciji s Bayerovim, u tzv. *kombinovanom postupku*. Pri tom postupku raščinja se sinterovanjem sa sodom samo toliki deo od ukupnog prerađenog boksita da se tako dobivenom lužinom upravo nadoknađuju gubici natrijum-hidroksida koji nastaju pri preradi preostalog boksita po Bayeru. Radi se tako da lužina dobivena izluživanjem sintera ima istu koncentraciju kao lužina dobivena raščinjavanjem u autoklavu, te se te dve lužine mogu spojiti i zajedno dalje obrađivati. Kombinovani je postupak ekonomičan kad je cena sodi znatno niža od cene

natrijum-hidroksida. U drugoj vrsti kombinovanog postupka sinterovanju se podvrgava crveni mulj Bayerova procesa, koji — ako je dobiven iz boksita sa mnogo SiO_2 — sadržava znatne količine Al_2O_3 i Na_2O .

Pedersenov alkalično-elektrotermijski postupak prerađuje boksit u električnoj peći uz dodatak vapna i koksa. Redukcijom ferioksida u boksitu koksom nastaje sirovo železo koje sadržava i jedan deo ostalih nečistoća boksita, naročito silicijum, a aluminijum-oksida u boksitu daje s vapnom rastopljenu trosku sastavljenu uglavnom od kalcijum-aluminata. Kad se ta troska ohladi i očvrstne, ona se usitni i izluži razređenim rastvorom sode. Iz dobivene aluminatne lužine taloži se aluminijum-hidroksid ugljen-dioksidom, čime se i regeneruje rastvor sode.

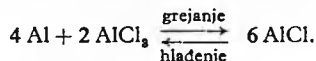
Prednost su Pedersenova postupka: da se mogu prerađivati i boksiti s velikim sadržajem kremene kiseline a da time ne nastaju gubici na aluminijumu; da lužine ne treba koncentrovati i da se dobiva železo kao dragocen nusproizvod. Nedostatak je velik potrošak električne energije (4,5 kWh po kilogramu glinice), zbog čega može biti ekonomičan samo ako se raspolaze velikim količinama električne energije uz iznimno nisku cenu. Zato po tom postupku radi danas samo jedna fabrika u Norveškoj (Hø-janger).

U našoj zemlji i u inostranstvu vršeni su i pokusi da se glinica dobije iz troske dobivene, mesto u električnoj peći, prerađom boksita u visokoj peći.

Redukcija glinice na aluminijum

Redukcija aluminijum-oksida na aluminijum ugljenikom, najjeftinijim i najuobičajenijim sredstvom za redukciju u metalurgiji, teorijski je moguća tek iznad temperature od $\sim 2000^\circ$ (tj. u električnoj peći), jer je tek iznad te temperature afinitet prema kiseoniku veći za ugljenik nego za aluminijum. Ali na tim visokim temperaturama aluminijum stvara s ugljenikom aluminijum-karbid, tako da je dobijanje čistog aluminijuma iz glinice na taj način nemoguće.

Međutim, redukuje li se u električnoj peći ugljenikom istovremeno aluminijum-oksida i silicijum-dioksida (npr. kaolin sam ili uz dodatak kvarca), dobija se legura silicijuma i aluminijuma koja sadržava 40...60% SiO_2 i srazmerno malo ugljenika. Ta se legura upotrebljava za proizvodnju levačkih legura aluminijuma, ali postoji i niz patenata prema kojima bi se iz nje mogao dobiti čisti aluminijum. Najzanimljiviji je možda postupak prema kojemu se na tu leguru deluje aluminijum-hloridom, tako da nastaje aluminijum-subhlorid, koji je na visokim temperaturama isparljiv i postojan a pri ohlađivanju se raspadne opet na aluminijum i aluminijum-hlorid:



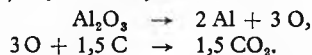
Na taj bi se način, dakle, s pomoću aluminijum-hlorida koji u procesu cirkulira mogao aluminijum iz legure u obliku subhlorida izdestilisati i kondenzovati u čistom stanju. Predloženi su i postupci preko subhalogenida koji polaze izravno od sirovina (boksita ili alumosilikata), pa nije isključeno da će ti ili slični postupci u budućnosti izrasti u ozbiljne konkurente elektrolizi.

Danas je, međutim, još elektrolitički postupak po Héroultu i Hallu jedini koji se u industrijskom merilu upotrebljava za dobijanje aluminijuma, pa će samo o njemu u daljem biti reči.

Elektroliza glinice. Prema Héroultu i Hallu aluminijum-oksida podvrgava se elektrolizi rastvoren u rastopljenom kriolitu, natrijum-heksafluoroaluminatu Na_6AlF_6 . Kriolit kao rastvarač za glinicu ispunjava na jedinstven način niz uslova potrebnih za uspešnu elektrolizu. On u rastopljenom stanju rastvara do 20% Al_2O_3 i dobiveni rastopi imaju tačke mržnjenja $930\text{--}1000^\circ$, dakle ne mnogo više od tačke mržnjenja aluminijuma (658°), što je vrlo važno jer iznad 1000° između aluminijuma, sastojina elektrolita i ugljenika nastaju reakcije koje bi

ometale proces elektrolize. U rastopljenom stanju kriolit ima gustinu manju nego aluminijum, tako da ovaj u rastopljenoj kupelji pada na dno, gde je bolje zaštićen od oksidacije nego da ispliva na površinu. Rastopljeni kriolit ima povoljan viskozitet, dovoljno je vodljiv i srazmerno malo isparljiv.

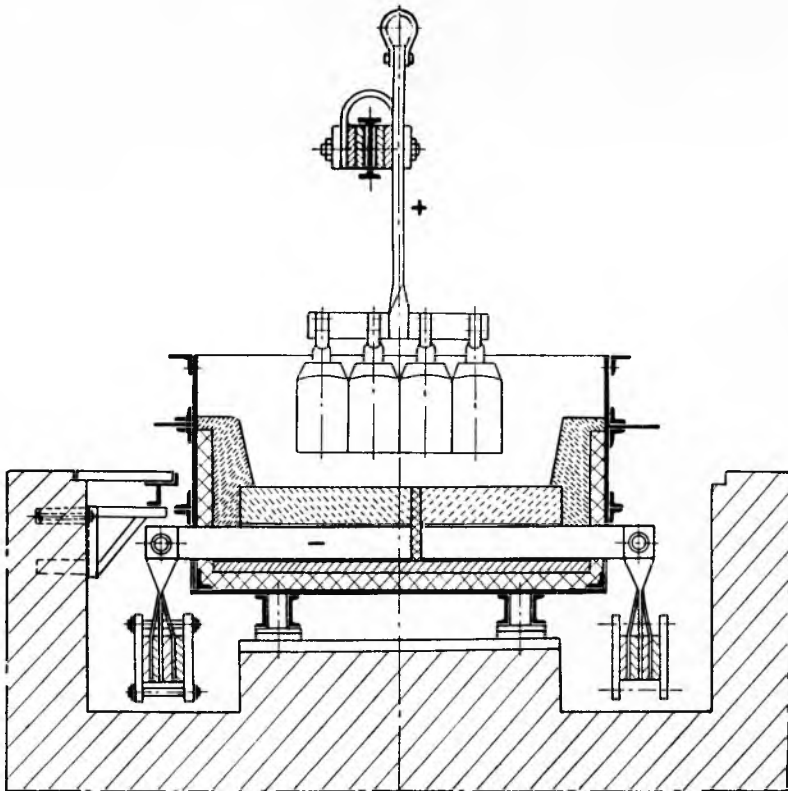
Reakcije koje se zbivaju u elektrolitu i ugljenoj anodi elektrolitske ćelije jesu, sumarno, ove:



Ugljene se anode dakle u procesu troše. Kriolit u tom procesu ne sudeluje, ali reakcijom s vlagom, natrijumom i silicijumom iz glinice, a također i pri porastu napona prilikom anodnih efekata (v. dalje), kriolit gubi aluminijum i fluor, te se ti gubici nadoknađuju dodavanjem aluminijum-fluorida. Za proces elektrolize povoljnije je da u kupelji bude manjak natrijuma s obzirom na stehiometrijski odnos $3 \text{ NaF} : \text{AlF}_3$ u kriolitu nego višak (da peč bude «kisela», a ne «alkalična»), stoga se dodaje AlF_3 uvek u višku od nekoliko procenata. Tokom vremena nastaju i gubici kriolita kao takvog, te se i on kupelji od vremena do vremena mora dodavati. Ukupno se na tonu aluminijuma troši $\sim 50 \text{ kg}$ kriolita i aluminijum-fluorida.

Elektrohemijski ekvivalent aluminijuma je $0,3354 \text{ g/Ah}$, tj. da bi 1 kA izlučio 1 kg aluminijuma, potrebno je 3 sata vremena. Proces je dakle veoma spor i zato u postrojenjima za elektrolizu uvek ima velik broj elektrolitskih ćelija (peći) i pojedine peći grade se za sve veće jačine struje: prva veća Héroultova peč trošila je 4 kA, a danas se savladao i dovod 100 kA i više jednoj peći.

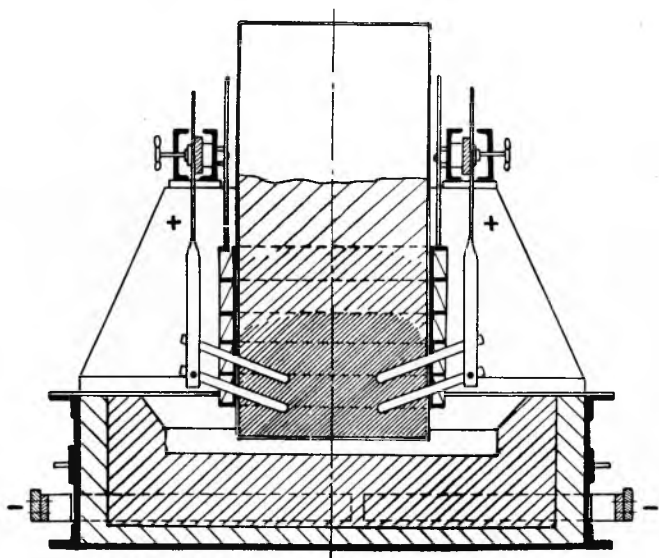
Teorijski napon razlaganja aluminijum-oksida uz depolarizaciju anode sagorevanjem ugljika iznosi 1,68 V, ali usled pada napona u kupelji (koji je neophodan da bi se rastop grejao i održao u tečnom stanju) i gubitaka napona na elektrodama i dovodima struje, faktični pad napona u svakoj peći iznosi 4,5...5,2 V, — manje na velikim, a više na malim pećima. U jednoj seriji sa ukupnim padom napona od 800...900 V (s kojim ispravljači ekonomično rade) ima, dakle, 150...200 peći spojenih za redom. Što je niži napon peći i što je bolje iskorišćenje struje to je manji utrošak električne energije. U tom pogledu su postignuti veliki napreci: u početku stoleća potrošak električne energije iznosio je 25 MWh po toni aluminijuma, danas moderne velike peći troše i ispod 15 MWh/t.



Sl. 4. Peć za elektrolizu glinice sa prethodno pečenim anodama

Konstrukcija peći za elektrolizu glinice mnogo se promenila u toku godina. Prve Héroultove i Hallove peći imale su oblik lađe, neke su bile ovalne, neke okrugle, a sada gotovo sve peći imaju pravougaoni presek. Donji deo je danas na svim pećima sličan: pravougaona kada od debelog lima i profilnog čelika, izidana šamotnom i izolacionom ciglom, obložena je još iznutra ugljenim pločama i blokovima. Ove katodne blokove izrađuju specijalna preduzeća od najboljih sirovina, a u peć se ugrađuju pečeni i koksovani. Blokovi koji sastavljaju dno peći imaju umetnute horizontalne čelične dovodnike struje. Neke peći, naročito američke, imaju sa strane dna začepljen izliv za aluminijum. Gornji deo peći sastoji se od anoda sa konstrukcijom za dizanje i spuštanje, sa zvonom i odvodom gasova. Anode mogu biti čvrste, prethodno pečene i koksovane, ili su tipa Söderberg. Gustoća struje na anodi iznosi 1,2...1,5 A/cm² za prethodno pečene anode, a 0,8...0,9 A/cm² za anode tipa Söderberg. Jedna peć od 50 kA treba dakle 3,5...4, odn. 5...6 m² anodne površine. Iz početka su se gradile samo peći sa prethodno pečenim anodama. Pošto je veličina pojedinačnog anodnog bloka ograničena (presek je npr. 25 × 25, 40 × 40, 40 × 50 cm), treba za veće peći više anodnih blokova, 8, 12, 14 ili 16. Poteškoće s ravnomernom regulacijom odstojanja velikog broja anodnih blokova od dna peći dovele su do toga da danas neke peći imaju anodne blokove raspoređene u međusobno vezane redove, kako to pokazuje sl. 4. Peć ima 8 redova po 4 anodna bloka s presekom po 26 × 33 cm. Ceo red, tj. po 4 bloka zajedno, reguliše se jednim nosačem.

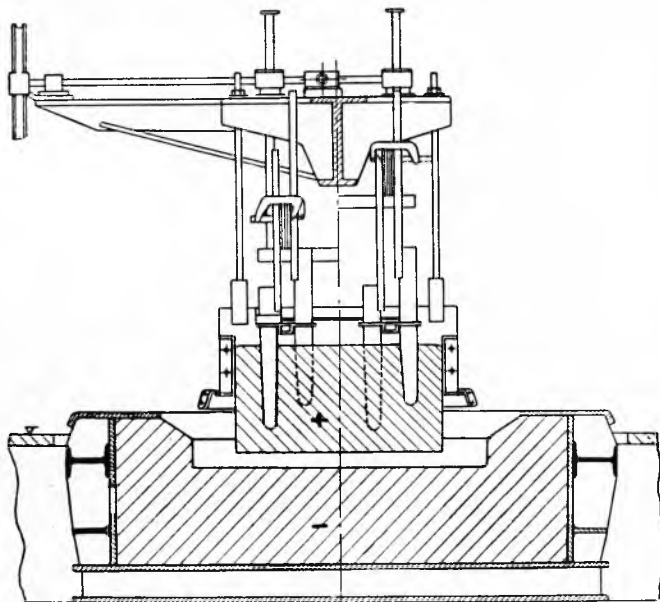
Veliki uspeh elektroda tipa Söderberg u industriji čelika, karbida i ferolegura doveo je oko 1928 do prve upotrebe takvih elektroda kao anoda u elektrolizi glinice. Prve Söderbergove anode bile su okruglog preseka, kasnije se prešlo na pravougaoni presek, koji pokriva više katode nego okrugli. Danas imamo većinom peći s jednom anodom. Dovodi struje mogu biti zabijeni u elektrodu koso sa strane, ili vertikalno odozgo. Peć na sl. 5 ima anodu s presekom 110 × 250 cm. Oko anode je aluminijumski plašt, dovodi struje su čelični i koso zabijeni. Anodna masa dopunjava se odozgo. U donjem delu anode masa se pod učinkom toplote koksuje i polagano sagoreva s kiseonikom iz glinice. Ova peć troši struju do 22 kA, radni napon je 5 V, a potrošnja energije 22 MWh za 1 tonu aluminijuma.



Sl. 5. Peć za elektrolizu glinice sa Söderbergovom anodom i dovodom struje sa strane

U potražnji za još većim pećima konstruiralo je najpre preduzeće Montecatini, a kasnije i druga, peći sa vertikalnim dovodima struje. Sl. 6 prikazuje peć tipa Elektrokemisk Industri Oslo. Plašt ovih peći je od čeličnog lima i fiksiran, a čelični dovodi struje zapečeni su u anodnu masu do različite dubine. Dovoda ima ukupno 28. Anodni blok ima presek 190 × 380 cm, oko njega je limeni venac za odvod gasova. Peć radi sa strujom 45 kA, radni napon je 4,7 V, a potrošnja energije 19 MWh/t Al.

Kad su u pogonu, peći su napunjene rastopljenim kriolitom sa dodatkom glinice. Prelazom struje elektrolit se zagrejava. Radna temperatura je ~ 950°C. Gornji sloj elektrolita se stvrdne i na nj se nasipa glinica. Istovremeno s aluminijumom redukuju se i primese glinice, kao SiO₂ i Fe₂O₃, i njihovi elektropozitivni delovi prelaze ka katodi. Kad se time potroši glinica do 2%, pojavi se *anodni efekat*: napon jako poraste i temperatura elektrolita se povisi. Na kori predgrejana glinica se probijanjem kore unese u elektrolit, napon se snizi i peć radi opet normalno.



Sl. 6. Peć za elektrolizu glinice sa Söderbergovom anodom i dovodom struje odozgo

Na dnu peći skupljeni aluminijum prazni se svaki treći-četvrti dan. Ako peć ima izliv u dnu, treba paziti da ostaje u peći još dosta metala da budu zaštićeni ugljeni blokovi. U Evropi aluminijum se obično crpe odozgo: u peć se umetne lonac s rupicom u dnu, metal koji ga napuni zbog statičkog pritiska isprazni se iz lonca velikim kašikama. Iz većih peći crpe se aluminijum u lonac evakuiran vakuum-pumpom ili ejektorom; taj se lonac, kad je napunjen, prenese do peći za skupljanje ili do trake za livenje blokova.

ČIŠĆENJE ALUMINIJUMA

Aluminijum koji se skuplja na dnu elektrolitičkih peći (čelija) sadržava niz primesa: metale, spojeve i vodonik. Pored toga je neravnomeran, svaka šarža ima drugi sastav. Železa zadržava 0,15...0,6%, silicijuma 0,15...0,4%, titana ~ 0,03%, bakra i cinka još manje. Od nemetalnih primesa sadržava aluminijum-oksidi, komponente kriolita i ugljenik. Zbog toga treba »topionički« aluminijum pre dalje prerade bar pretopljenjem egalizirati, ili ga čistiti uduvavanjem gasova. Na taj način može se — uz posebne mere opreza — dobiti aluminijum sa najviše 99,85 Al. Čistiji aluminijum za specijalne svrhe može se dobiti elektrolitičkom rafinacijom.

Pretopljenjem postigne se ravnomernost većih šarži (1000...5000 kg) i smanjenje sadržaja nemetalnih uključaka i gasa. Za pretopljenje se mnogo upotrebljavaju *električne peći* s pravougaonim ognjištem, koje je u sredini produbljeno. Obično se zagrevavaju spiralnim grejačima odozgo. Aluminijum se šaržira u blokovima ili tečan. Treba ga zadržavati najmanje dva do tri sata u miru na temperaturi 670...710°. Za to vreme isplivaju nemetalne primese i gasovi, na površini se stvara pena (»pepeo«) koja se skida. U ovim pećima mogu se aluminijumu i dolegirati drugi metali. Mnoge peći za pretopljivanje mogu se naginjati, tako da metal isteče u formu što mirnije i bez razaranja oksidne skrame na površini.

Pored peći na električni otpor upotrebljavaju se za pretopljivanje sve više i *indukcijske peći* za nisku frekvenciju. Iako su, zbog komplikovane električne opreme, prilično skupe, one daju brzo homogen metal a gubici metala su maleni.

Čišćenje gasovima. Uduvavanjem hlora u tekući aluminijum postiže se dobro čišćenje: hlor reaguje s primesama, stvaraju se HCl, NaCl i nešto $AlCl_3$, koji isparavaju i iznose suspendovane primese na površinu metala. Budući da je hlor otrovan, hloriranje treba izvesti u naročito pokrivenom loncu i dobro provetrenoj hali a radništvo zaštititi maskama. Hlor se uduvava polagano kroz 10...15 minuta, posle toga metal treba da stoji na miru isto vreme. Potrošnja je $\sim 0,3 \text{ m}^3$ hlora za tonu aluminijuma.

Azot se upotrebljava na sličan način, ali nije otrovan. Dejstvo azota je mehaničko: mali mehurići gasa promešavaju metal i odnose suspendovane čestice glinice i kriolita, kao i vodonik, ka površini. Azot se uvodi u tekući metal grafitnom cevkom, koja ima na kraju vrlo male rupice. Duvanje treba da je polagano, najviše $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Potrošnja azota je $\sim 0,6 \text{ m}^3/\text{t Al}$ ako se radi s pokrivenim loncem. Slično se radi i s argonom, koji je mnogo skuplji. Uduvavanje ovih inertnih gasova ima i prednost da se sprečava oksidacija metala za vreme stajanja.

Velika preduzeća imaju za uduvavanje hlora ili azota ležće cilindričke konvertore, slične onima koji se upotrebljavaju u metalurgiji bakra.

Elektrolitička rafinacija metala sastoji se općenito u tome da se u elektrolitičkoj ćeliji nečisti metal učini anodom a čisti katodom. Pri prolazu struje rastvara se na anodi u elektrolitu metal koji se želi dobiti čist i ev. prisutni elektronegativniji metali; elektropozitivnije primese ostaju nerastvorene. Na katodi, pak, može se pri pravilnom vođenju procesa izlučiti samo metal koji se želi dobiti čist: elektronegativnije se primese ne mogu izlučiti a elektropozitivnijih u elektrolitu nema. Aluminijum je elektronegativniji od svih metala koji se kao onečišćenja u njemu nalaze, ovi se dakle u elektrolitičkoj ćeliji za rafinaciju neće s njime rastvarati na anodi; da bi se na katodi izlučivao samo čist aluminijum, elektrolit se mora sastojati samo od soli aluminijuma i metala elektronegativnijih od njega: alkalnih i zemnoalkalnih metala. Budući da je i vodik elektropozitivniji od aluminijuma, elektrolit ne može biti vodeni rastvor, već samo rastopljeni so ili smeša soli.

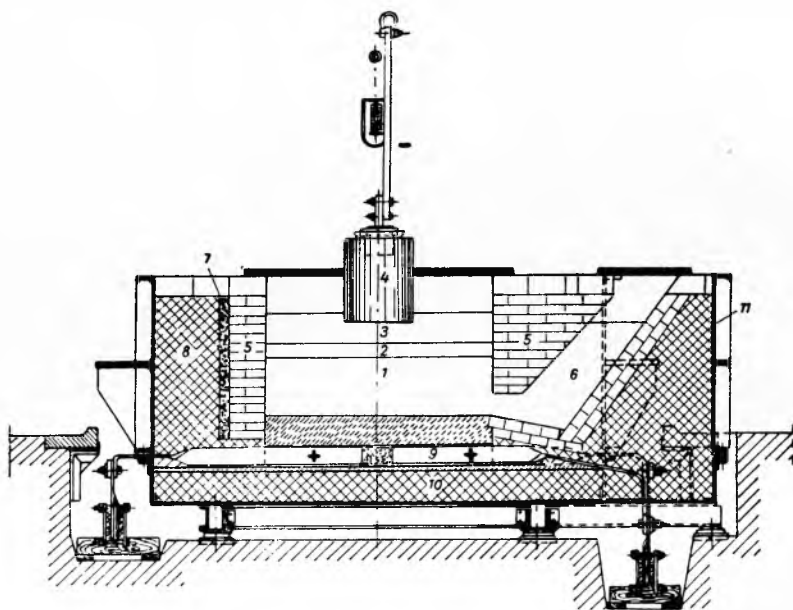
Današnje ćelije (peći) za elektrolitičku rafinaciju aluminijuma rade na principu tri sloja: sastav je rastopljenog elektrolita takav da je on specifično teži od rastopljenog čistog aluminijuma, stoga čisti aluminijum pliva na površini elektrolita; nečisti aluminijum se rastopljen uleva u rastopljenu leguru aluminijuma i bakra, koja zbog svoje velike gustine leži na dnu peći ispod elektrolita. Struja se na anodnu leguru dovodi preko dna peći koji tvore ugljeni blokovi, a s katodnog aluminijuma koji pliva na površini odvodi se preko elektroda od grafita ili čistog aluminijuma koje su u nj zaronjene.

Nečistoće sirovog aluminijuma, uglavnom silicijum i željezo, nakupljaju se u anodnoj leguri i na hladnijim mestima se izlučuju u obliku intermetalnih spojeva $FeSiAl_3$ i Cu_3FeAl_7 ; u modernim pećima one se kroz posebne otvore vade u pravilnim razmacima vremena, pre nego što se kroz iste otvore uleva u anodnu leguru rastopljeni sirovi aluminijum. Peći za rafinisanje sirovog aluminijuma mogu se upotrebiti i za rafinisanje otpadaka aluminijuma i njegovih legura. Budući da je magnezijum elektronegativniji od aluminijuma, on bi se u rastopljenom elektrolitu nagomilavao i remetio rad peći; iz otpadaka aluminijuma treba ga stoga pre rafinacije ukloniti.

Tablica 2
ELEKTROLITI ZA RAFINACIJU ALUMINIJUMA

		USA	Francuska	Švicarska Nemačka	SSSR
BaF_2	%	35	—	18	—
$BaCl_2$	%	—	60	—	60
NaF	%	27	17	18	12
CaF_2	%	—	—	16	—
AlF_3	%	35	23	48	24
$NaCl$	%	—	—	—	4
Al_2O_3	%	3	—	—	—
Tačka topljenja		950°	730°	675°	$<670^\circ$
Radna temperatura		1000°	780°	740°	750°

Anodna legura sadržava 28...35 % bakra. Sastav elektrolita upotrebljavanog u različitim zemljama prikazan je u tablici 2, u kojoj su navedene i njegove tačke topljenja i temperatura peći pri radu s njime. Što je ta temperatura niža to su



Sl. 7. Ćelija za elektrolitičku rafinaciju aluminijuma. 1 anodna legura, 2 elektrolit, 3 rafinirani aluminijum, 4 katoda, 5 magnezitne opeke, 6 levak za šaržiranje, 7 izolacija, 8, 10 obične opeke, 9 dovod struje, 11 čelični oklop

lakše rešljivi problemi koji se pojavljuju pri gradnji peći i u pogonu.

Sl. 7 prikazuje peć konstrukcije VAW, koja je upotrebljiva i za rafinaciju aluminijumskih otpadaka. Peć troši struju 14 kA, radni napon je 6,5 V, a potrošnja energije 20...22 kWh za kg rafinisanog aluminijuma.

Elektrolitički rafinirani aluminijum (rafinal) sadržava 99,99 % Al, katkada i više. Tačka topljenja je $660,24^\circ\text{C}$. Električna provodnost je veća, reflektivnost mnogo veća u poređenju s tehničkim aluminijumom. Vanredna je otpornost prema koroziji, čak prema razblaženoj sonoj kiselini, koja tehnički aluminijum vrlo brzo rastvara. Rafinal se upotrebljava mnogo za izradu elektrolitičkih kondenzatora, za reflektore, za ukrasne delove automobila, za sudove i sl. Pored toga upotrebljava se i za platiniranje lakih legura i drugih metala, koje štiti pred korozijom. Za hemijske aparate, u industriji konzervi, u industriji kabela umesto olova, upotrebljava se sve više rafinal.

LEGURE ALUMINIJUMA

Trgovački aluminijum sadrži $\sim 0,5\%$ primesa, a ponekad i više, uglavnom Fe i Si. Ove primese čine metal čvršćim i tvrdim. Našlo se da i druge primese menjaju osobine mekanog metala i da su mnoge legure bolje upotrebljive nego metal sam. Aluminijumu se dodaju bakar, silicijum, magnezijum, cink, željezo, mangan, katkada i nikal, krom, titan, berilijum, kalcijum i drugi metali u malim količinama. Ovi metali mogu biti prisutni u metalnom obliku (dispergirani), ili u čvrstom rastvoru u aluminijumu, ili u obliku intermetalnih spojeva s aluminijumom, ili u smeši različitih strukturnih faza.

Obično dodatak drugog metala snižava tačku topljenja legure do nekog minimuma, do *eutektičke temperature*. Eutektičke legure, pored toga što su im tačke topljenja niže od tačaka topljenja obaju sastavnih metala, imaju i druge naročite osobine. Zbog svojeg homogenog sastava upotrebljavaju se mnogo za livenje.

Legure se dele u *legure za livenje* i u *legure za gnječenje*. Ima i legura koje se mogu upotrebljavati i za livenje i za gnječenje. Pored toga se razlikuju legure po termičkoj obradi: nekim legurama zavisi čvrstoća i tvrdoća od hemijskog sastava i od toplotne obrade posle livenja, a drugima toplotna obrada ne povećava čvrstoću.

Legure za livenje obično sadrže, pored aluminijuma, ili silicijum, ili bakar, ili magnezijum, ili kombinacije ovih metala,

kao i nikal, cink, željezo ili mangan. Neke legure su naročito upotreblijive za livenje u peščane kalupe, neke bolje odgovaraju za metalne kalupe (kokile), a za *livenje pod pritiskom* (ili *brizgani liv*) postoji izbor specijalnih legura. Čvrstoća legura livenih u pesak je između 14 i 24, a tvrdoća HB 50...80 kp/mm². Legure livene u kokile imaju za 2...3 kp/mm² veću čvrstoću, a tvrdoća je za 5...10 kp/mm² veća od tvrdoće istih legura livenih u pesak. U tablici 3 naveden je sastav nekih livačkih legura koje se mnogo upotrebljavaju.

Tablica 3

LEGURE ZA LIVENJE

Tek. br.	Oznaka	Si %	Cu %	Mg %	Mn %	Ni %	Zn %	Pesak Kokile Brizgano
1	AlSi12	11...13,5	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,5		≤ 0,1	PK
2	AlSi12 Mn	11...13	≤ 0,4	≤ 0,3	0,2...0,7		≤ 0,4	B
3	AlSi10 Mg	9...11	≤ 0,2	0,2...0,4	0,3...0,6		≤ 0,2	PK
4	AlSi5Cu3	4...6	2...4	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,2	PK
5	AlMg4	≤ 0,5	≤ 0,05	4...5	≤ 0,2		≤ 0,1	P
6	AlMg8Mn	≤ 0,6	≤ 0,05	6...10	0,2...0,7		≤ 0,4	B
7	AlSi12Ni2MgCu	11...13	0,5...1,5	0,7...1,3	≤ 0,1	2...3	≤ 0,1	K
8	AlCu4Ni2Mg	≤ 0,6	3,8...4,2	1,3...1,7	≤ 0,1	1,8...2,3	≤ 0,1	PK
9	AlSi5Cu1Mg	5...6	1,2...1,6	0,4...0,6	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	PK
10	AlCu5Si3	2...4	4...7	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,5	≤ 2,5	PK
11	AlZn6Cu4	≤ 1,5	3...5	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,3	4...8	P
12	AlZn10Si8Mg(Cu)	7...9	(0...2)	0,2...0,5	≤ 0,1		9...11	PKB

Primerba: Sve navedene legure sadrže i malo željeza (0,2 do 0,8%), legure 10 i 11 čak do 1% Fe. Legure br. 1 do 8 izrađuju se u Lozovcu, legure br. 1, 4 i 11 izrađuje Mariborska livarna, legure br. 1, 3, 4, 5, 9, 10 i 11 odgovaraju DIN standardima.

Legure za gnječenje sadrže obično pored Al i bakar, magnezijum ili mangan, katkada i cink, nikal ili silicijum. Prerađuju se valjanjem, presovanjem ili kovanjem u vrućem ili hladnom stanju. Šipke, cevi i žica mogu se dalje prerađivati i hladnim vučenjem. Od ovih legura izrađuju se ploče, limovi i trake, cevi, profili, šipke i žica odn. kablovi. Čvrstoća, tvrdoća i istezanje ovih legura zavise od stanja (mekano, polutvrdo, tvrdo, kaljeno, očvrštnuto, dozrevano, vučeno i sl.). Čvrstoća može biti u granicama od 10 kp/mm² (npr. AlMn u mekanom stanju) do 50 kp/mm² (očvršćeni AlZn5MgCu). Tvrdoća HB je u granicama od 30 do 140 kp/mm², a istezanje od 20 do 7%. U tablici 4 naveden je sastav nekih legura za gnječenje koje se mnogo troše.

Legure tipa AlCuMg, AlCuMg pl, AlCuNi i AlMgSi mogu se toplotnom obradom učiniti čvršćima (oplemeniti). Legure tipa AlMg, AlMn i AlMgMn dobro su otporne prema koroziji.

Izbor legura zavisi od načina upotrebe, od njihove čvrstoće i tvrdoće, od otpornosti prema koroziji, od njihove cene i drugih faktora. Često zadovoljavaju legure koje se ne mogu oplemeniti toplotnom obradom. Kad treba upotrebiti legure sa što većom čvrstoćom, obično se izabere legura kojoj se može povećati čvrstoća naročitom toplotnom obradom. Neke legure, npr. legure

koji dolazi s aluminijumom, tako da su stvarno sve tehničke lake legure kompleksne legure. Zbog toga treba očekivati u strukturi i komponente koje se stvaraju među dodanim metalima. Sl. 8 prikazuje glavne binarne fazne dijagrame: Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Zn, Al-Fe i Al-Mn, kao i kvazibinarni dijagram Al-Mg₂Si.

Tehničke legure su većinom hipoeutektičke. Kad počne očvršćavanje takvih legura, najpre se stvaraju čvrsti dendritni kristali aluminijuma ili čvrstog rastvora legurnog metala u aluminijumu, koji plivaju u ostatku legure siromašnijem alumi-

jumom. Nastaje livna struktura koju nalazimo u ingotima i livenim proizvodima: izvesna mreža većih dendrita u više ili manje ravnomernom ostatku (eutektiku). Toplotnom obradom u čvrstom stanju može se postići bitna promena strukture nekih livačkih legura, a i mnogih legura za gnječenje: rast kristalnih jedinica, rastvaranje jednih strukturnih komponentata u drugim ili izdvajanje intermetalnih jedinjenja na granicama ili u unutrašnjosti kristala.

Pri preradi ingota u gnječene proizvode dolazi do velikih promena i makrostrukture i mikrostrukture. Livna struktura odlivaka menja se gnječenjem: od relativno velikih nesređenih kristala postaju sitniji, u pravcu povećanja dimenzije razvučeni kristali, koji rekristališu u toku tople prerade. Posle toplog gnječenja može se postići nova promena strukture preradom ispod temperature rekristalizacije, tj. *hladnom preradom*. Kristali se usitnjavaju i razvuku tako da je često nemoguće utvrditi prvobitne kristalne granice. Umerenim žarenjem može se postići rekristalizacija hladno preradenih legura: od usitnjenih delova primarnih kristala stvaraju se novi, veći kristali, dok se usmereni pravac kristala gubi. Time se smanjuje tvrdoća i čvrstoća i istovremeno izjednačuju unutrašnji naponi.

Tablica 4

LEGURE ZA GNJEČENJE

Tek. br.	Oznaka	Mg %	Cu %	Mn %	Si %	Zn %	%
1	AlMn	≤ 0,3	≤ 0,1	0,8...1,5	≤ 0,5	≤ 0,2	
2	AlMg3	2,6...3,3	≤ 0,05	≤ 0,4	≤ 0,5	≤ 0,2	
3	AlMg5	4,3...5,5	≤ 0,05	≤ 0,06	≤ 0,5	≤ 0,2	
4	AlMg1Si1(Mn)	0,6...1,4	≤ 0,1	(0,2...1)	0,6...1,6	≤ 0,2	
5	AlMg0,5Si	0,4...0,9	≤ 0,1	≤ 0,3	0,3...0,7	≤ 0,2	
6	AlCu4Mg1Mn	0,4...1	3,5...4,7	0,3...1	0,2...0,8	≤ 0,5	
7	AlCu2MgSi	~ 1	~ 2,2		~ 1	≤ 0,3	
8	AlCu5,5Pb (Bi)	—	5...6	—	≤ 0,4	≤ 0,3	{Pb 0,2...0,6 {Bi 0,2...0,6}
9	AlZn5Mg2,5Cu	2...3,8	0,4...1,5	0,1...0,6	≤ 0,5	4...5,5	
10	AlZn4,5Mg	~ 1			≤ 0,5	~ 4,5	
11	AlCu4Ni2Mg	1,3...1,8	3,5...4,5	≤ 0,1	≤ 0,6	≤ 0,1	Ni 1,8...2,2

Primerba: Sve ove legure sadrže i 0,2 do 0,7% željeza, a legure br. 2 do 6 mogu sadržati i do 0,3% hroma. Legure br. 1 do 6, 8 i 9 iprađuje preduzeća »Boris Kidrič« i »Impol«, a legure br. 7 i 10 »Impol«. Legura br. 11 je i livna i kovna legura za glave cilindra i klipove eksplozionih motora.

tipa AlCuMg, imaju visoku čvrstoću i vanredno su podesne za konstrukcijske delove aviona i sl., ali dosta brzo korodiraju. Takve legure se često upotrebljavaju platinane tr. prevučene tankim slojem čistog aluminijuma ili drugog nekorodibilnog materijala.

Struktura legura. Metali koji se dodaju aluminijumu određuju karakteristične osobine legure svojom količinom i raspodelom u strukturi. U mnogim slučajevima upotrebljavaju se binarne legure kao Al-Mg, Al-Si i Al-Mn, a još više legure sa tri ili više metala. I binarne legure sadrže malo željeza i silicijuma

Toplotnom obradom nekih legura može se povisiti njihova čvrstoća. Mikro-struktura tih legura vrlo se menja u toku tog postupka. Neke komponente se rastvaraju pri žarenju, a kaljenjem koje sledi iz toga fiksira se ovo stanje prezasićenog čvrstog rastvora. Time se postiže veća tvrdoća i čvrstoća.

Izbor legura sposobnih za poboljšanje toplotnom obradom zavisi od rastvorljivosti dodanih elemenata u čvrstom aluminijumu; neki se rastvaraju više, drugi manje. Rastvorljivost je veća na temperaturama u blizini tačke topljenja nego na običnoj

silicijuma (do 30%), velike čvrstoće na povišenoj temperaturi, sa smanjenim koeficijentom toplotne dilatacije, kovna.

Primena legura. Legure tipa AlCuMg, uz legure AlZnMgCu, imaju najbolja mehanička svojstva, pogotovo ako se podvrgnu osim gnječenju još i toplotnoj obradi. Zbog prisustva bakra potrebna im je površinska zaštita. Primenuju se za visoko napregnute elemente u konstrukciji aviona, šinskih i cestovnih vozila, mašinskih delova i sl. Legura ovog tipa uz dodatak olova (AlCuMgPb) upotrebljava se za delove koji se mašinski obrađuju (*automatlegura*) zbog toga što daje kratku, krutu strugotinu koja ne ometa rad alata.

Legure tipa AlCuNi, poznate pod imenom *Y-legure*, odlikuju se u obrađenom stanju velikom čvrstoćom koju zadržavaju i na razmerno visokim temperaturama; primenuju se stoga za napregnute delove izložene povišenoj temperaturi, kao što su klipovi i cilindarske glave eksplozivnih motora.

Od legura tipova AlMg i AlMn, toplotno neobradljivih, upotrebljavaju se uglavnom legure AlMg3, AlMg5, AlMg7 i AlMn. Čvrstoća im raste sa sadržajem magnezija. Primenuju se za srednje napregnute i jako napregnute elemente od kojih se zahteva postojanost prema koroziji, naročito u morskoj vodi i atmosferi u blizini mora. Upotrebljavaju se u brodogradnji, za brodsku opremu, za transportna sredstva, za opremu hemijske i riblje industrije. Legura AlMg3 eloksalkvaliteta, anodno oksidirana, naročito je podesna za unutarnju arhitekturu zgrada, brodova i vozila.

Tablica 6
MEHANIČKE OSOBINE LAKIH LEGURA

Tip	Stanje, način li- venja, temperatura	Granica popuštanja	Čvrstoća σ_m , kp/mm ²	Istezanje δ_{10} %
AlCuMg	omekšano zakaljeno	8...14 24...36	8...25 37...48	22...10 20...9
AlZnMgCu	omekšano zakaljeno	8...16 45...55	20...30 54...60	22...14 16...5
AlCuNi	zakaljeno	22...33	35...44	17...10
AlMg3	omekšano polutvrdo tvrdo	7...11 14...18 18...26	18...21 22...25 25...31	22...12 14...8 8...3
AlMg5	omekšano polutvrdo tvrdo	10...15 14...22 20...32	24...28 26...32 30...38	20...10 14...6 7...3
AlMg7	omekšano polutvrdo	12...18 19...25	28...32 34...38	20...12 15...6
AlMg3Si	omekšano polutvrdo tvrdo	8...12 14...18 18...24	18...22 23...28 26...30	20...15 12...8 6...3
AlMgMn	omekšano polutvrdo tvrdo	7...10 14...18 18...24	17...21 22...26 26...30	20...12 12...6 6...3
AlMn	omekšano polutvrdo tvrdo	4...6 10...12 12...18	9...11 12...15 15...20	30...20 12...5 6...3
AlMgSi	omekšano zakaljeno	5...8 18...30	11...14 28...36	20...14 16...18
AlSi12CuNi	u kokilu pritiskom	18...21 30...36	20...24 34...40	0,3...1 2...4
AlSi18CuNi	u kokilu pritiskom	17...20 22...26	18...22 26...30	0,2...0,5 1...2
AlSi21CuNi	u kokilu	17...20	18...22	0,2...0,5
AlSi25CuNi	u kokilu	17...20	18...22	0,1...0,3
S. A. P. (sinterovani alumi- nijumski prah)	20°C 100°C 200°C 300°C 400°C	23...27 21...25 19...22 14...19 11...14	32...36 28...32 22...26 16...20 13...15	9...6 9...6 9...6 6...3 3...1,5

Legure tipa AlMgMn također su toplotno neobradljive, a odlikuju se, kao i legure prethodne grupe, dobrim antikorozijskim svojstvima. Mehanička svojstva su im osrednja. Temperatura zavarivanja malo utiče na mehanička svojstva zavarenih konstrukcija od mekog ili polutvrdog materijala tog sastava. Područje je primene uglavnom kao za prethodnu grupu legura.

Legure tipa AlMn su toplotno neobradljive legure mehanički slabije, ali vrlo otporne prema koroziji. Od njih se prave uređaji i posude za hemijsku i prehrambenu industriju, kuhinjski uređaji za hotele, bolnice i brodove, oprema za mlečnu i mesnu industriju, delovi za tekstilne mašine, ambalaža i krovovi zgrada.

Legure tipa AlMgSi srednjih su i dobrih mehaničkih karakteristika a uz to otporne prema koroziji. Primenuju se u gradnji

cestovnih i šinskih vozila, u brodogradnji, za mašinske delove i armature, u građevinarstvu i dr.

Legure tipa AlSi, tzv. *klipne legure*, specijalne su legure za izradu klipova motora s unutarnjim sagorevanjem. Karakterističan je za njih visoki sadržaj silicijuma (11...26%) uz dodatak magnezijuma, bakra i nikla. Odlikuju se malim koeficijentom toplotne dilatacije (17...21·10⁻⁶). Levaju se u kokile ili pritiskom. Nakon levanja klipovi se podvrgavaju specijalnoj toplotnoj obradi.

Sinterovani aluminijum odlikuje se — i pri dugotrajnom izlaganju povišenim temperaturama — boljim mehaničkim karakteristikama nego aluminijumske legure bilo kojeg tipa (npr. Y-legure) na istoj temperaturi. Primenuje se za izradu klipova, komora sagorevanja, cilindarskih glava, uložaka klipova na toplotno jako opterećenim mestima, brtvenih prstenova za parne i gasne turbine, lopatica kompresora, municije i — naročito — oplate ultrazvučnih aviona i raketa.

Tablica 7
NEKI NAZIVI LAKIH LEGURA

Naziv	Standardna oznaka	Naziv	Standardna oznaka
Albondur	AlCuMg	Dural	AlCuMg
Aldrey	E AlMgSi	Duralumin	AlCuMg
Aludur M. 115	AlMn	Eloxalpantal	AlMgSi (eloksal)
Aludur 100	AlMg1	Hydronalium	AlMg
Aludur 300	AlMg3	KS-Seewasser	AlMgMn
Aludur 500	AlMg5	Mahle 124	P AlSi12CuNi
Aludur 531	AlMgSi (eloksal)	Mahle 138	P AlSiCuNi
Aludur D	AlZnMg	Mahle 244	P AlSi25CuNi
Aluman	AlMn	Mangal	AlMn
Anticorodal	AlMgSi	Nüral 3210	P AlSi12CuNi1
Anticorodal S	AlMgSi (eloksal)	Nüral 1761	P AlSi17CuNi3
Avional	AlCuMg	Pantal	AlMgSi
Bondur (17/65)	AlCuMg	Peraluman 30	AlMg3
Bondur (17/11)	AlCuMg (vis. čvrst.)	Peraluman 50	AlMg5
BS-Seewasser	AlMg 3 (63/03)	Peraluman 70	AlMg7
Constructal	AlMg 5 (63/05)	Rafinal	Al 99,99 R
(21/42 i 21/53)	AlMg 7 (63/07)	Reflectal	Al R Mg 0,5—2
(20/75 i 20/85)	AlZnMg	Silumin	P AlSi i K AlSi
	AlZnMgCu	Y-legura	P AlCuNi
			K AlCuNi

U tablici 6 dat je pregled osnovnih mehaničkih karakteristika spomenutih aluminijumskih legura, a u tablici 7 popis njihovih naziva koji se i u nas često upotrebljavaju.

PRERADA ALUMINIJUMA I LAKIH LEGURA

Aluminijum i njegove legure treba da prođu kroz različite radne operacije da bi se iz njih stvorili upotrebljivi produkti. Metal treba najpre topiti i liti iz njega ingote za preradu gnječenjem, ili ga liti u livnici u pešane ili metalne kalupe (kokile).

Peći za topljenje i livenje. Za radne operacije topljenja, legiranja, čišćenja, održavanja temperature i livenja potrebne su peći različitih konstrukcija. Izbor zavisi od lokalnih uslova, veličine preduzeća, radnog programa i sl.

Za topljenje se upotrebljavaju u livnicama najviše *peći s loncima*, ložene koksom, gasom ili tečnim gorivom. Električne peći za topljenje se upotrebljavaju manje, što zavisi uglavnom od cene električne energije. Gasove sagorevanja treba odvoditi tako da ne dolaze u kontakt s tečnim metalom. Lonci su grafitni ili od livenog železa. Železni su jeftiniji i bolje provode toplotu, ali pri radu s njima postoji opasnost da aluminijumska legura rastvori nešto železa. Zbog toga treba lonce dobro premazivati smešom gline (Al_2O_3), vodenog stakla i vode. Peći s loncima mogu biti fiksne, pa se ispražnjuju kašikama, ili se mogu nagninjati da bi metal isticao što mirnije.

Za veće produkcije, naročito za topljenje legura za livenje ingota, upotrebljavaju se *peći s ognjištem*, ložene plamenom uglja, koksa ili gasa, katkada i tečnog goriva. Direktna uticaj plamena na tečni metal sastoji se u većoj apsorpciji gasova. Ognjišne peći zagrevane električnim spiralnim grejačima, montiranim u krov peći, mnogo se upotrebljavaju. Ove peći su obično uređene za nagninjavanje, naročito pri polukontinuiranom livenju ingota.

Niskofrekventne *indukcijske peći* se upotrebljavaju sve više. One tope brzo, pri čemu se metal indukcijskom stalno meša, a gubitak metala je malen. Ove peći su skupe jer zahtevaju komplikovan električki uređaj. I pored toga se veća investicija brzo isplati. Sl. 9 prikazuje peć konstrukcije Russ, koja se može nagninjati oko izleva.

Visokofrekventne peći i peći zagrevane grafitnim štapom za aluminijumove legure manje se upotrebljavaju.

Livenje ingota za preradu gnječenjem. Da bi se mogli izraditi besprekorni fabrikati, ingoti treba da imaju čistu površinu i sitnozrnatu strukturu. Takođe ne smeju imati lunkere ili sadržavati nemetalne uključke. Temperatura livenja treba da je što niža, što bliže tački očvršćavanja legure. Time se smanjuje sadržaj gasa i sprečava se stvaranje velikih kristala. Metal treba da teče u kokilu polagano i mirno, tako da se ne kida oksidna skramica na površini tekuće legure. Metal u kokili treba da očvrstne što brže: intenzivnim hlađenjem, najbolje odozdo i sa strana ingota, omogućuje se da mehurići gasa isplivaju na površinu, a dobivena struktura odlivka je zbog toga sitnozrnata i bez lunkera.

Navedene uslove nije lako ispuniti. Prosto livenje iz lonca u vertikalne kokile, kao što se to radi pri livenju čelika, nije pogodno za aluminijumske legure, jer tako liven ingot ima mnogo oksidnih uključaka. U manjim preduzećima se mnogo upotrebljava ovaj postupak: kokila je na početku livenja skoro horizontalna, pa se puni iz lonca ravnomerno i istovremeno se postepeno ispravlja u vertikalni položaj (sl. 10). Pri tom načinu livenja je tečni metal stalno pokriven skramom oksida koja ga štiti. Lunker koji se stvara pri očvršćavanju treba dolevanjem kašikom popunjavati, što traje za svaki ingot i do četvrt sata.

Sporost pomenutog postupka i druge njegove mane dovele su do konstrukcije najrazličitijih mašina za livenje. Posle rata uveden je nov postupak: *livenje bez dna ili kontinuirano i polukontinuirano livenje ingota*. Princip tih postupaka je ovaj: iz peći

što služi za topljenje i održavanje ravnomerne temperature teče metal u kokilu koja ima oblik vodom hlađenog prstena. Kokila nema dna, dno tvori metal koji brzo očvršćava i postepeno izlazi iz kokile. U kontinualnom postupku (Junghans) je kokila visoka 600...1000 mm, a ingot se ispod kokile još prska vodom da potpuno očvrstne. Transportni valjci vuku ingot ravnomerno naniže do testere, koja od vremena do vremena odseče komad ingota.

Polukontinualno livenje bazira na istom principu: kokila je bez dna, hlađena vodom koja kroz nju cirkulira, ima malu visinu, ~ 80 mm. Očvršnuti metal prelazi odmah ispod kokile u duboki vertikalni kazan pun hladne vode. Dubina tog kazana i hidrauličke dizalice ispod njega ograničavaju dužinu ingota. Sl. 11 prikazuje peć i postrojenje za polukontinualno livenje. Presek kokile može biti krug, kvadrat ili pravougaonik (za livenje trupaca, blokova za lim). Na taj način se može liti istovremeno i 2, 4 ili 6 ingota. Upotrebom dveju centrično fiksiranih kokila liju se šuplji ingoti, koji se presovanjem i vučenjem dalje preraduju u cevi.

Glavna je prednost livenja bez dna što ingot nema centralnog lunkera, zbog čega otpada sporo dolivanje. Jakim hlađenjem, uglavnom odozdo, stvara se sitnozrnata struktura, te se takó izbegava pojava segregacije (izlučivanja) legurnih komponenata.

Gnječenje je postupak prerade kojim se liveni ingoti deformišu pritiskom ili udarom i time pretvaraju u polufabrikate ili gotove proizvode. Aluminijum ima kristalnu strukturu površinski centrirane kocke, zato se može dobro deformisati. Sposobnost deformacije legura zavisi od sastava: legure AlMn su samo malo otpornije od čistog aluminijuma, legure AlCuMg traže veću

silu, a veliki otpor prema deformaciji imaju legure sa 5...7% Mg. Otpor prema deformaciji veoma se snižava povišenjem temperature. Zbog toga se najpre gnječe zagrejani ingoti. Prvi stepen gnječenja je vruća prerada. Pri tom se veliki kristali livne strukture deformišu i rekristališu, legura se mnogo ne učvrsti i ne postaje krta. Posle toplog gnječenja se može produžiti sa hladnom deformacijom.

Vruće valjanje. Za izradu lima, traka i folija upotrebljavaju se ingoti pravougaonog preseka. Obično se šire stranice pre žarenja glodanjem očiste od oksidne kore i neravnomernosti. Zagrevanje ingota se vrši u pećima različitih konstrukcija. Za svaku leguru postoji optimalni temperaturni interval za valjanje. Temperatura vrućeg valjanja aluminijuma je u granicama od 450° do 500°, a legura od 330 do 520°, što zavisi o sastavu legure.

Redukcija debljine pri jednom prolazu između valjaka može biti za aluminijum do 30%, za legure je manja. Krajnja granica vrućeg valjanja lima je do debljine od ~ 6...8 mm.

Za vruće valjanje aluminijuma i lakih legura upotrebljavaju se najviše valjački stanovi sa dva valjaka (duo). Duo-valjački stan s jednosmernim okretanjem valjaka gubi polovinu vremena za vraćanje lima preko valjaka. Reverzivni duo-valjački stanovi rade brže, lim se manje ohladi i moguće je valjati po jednom zagrevanju duže vremena. Katkada se upotrebljavaju također trio-stanovi i kvarto-stanovi. Za velike pogone se obično upotrebljava reverzivni duo za deformiranje livne strukture u prvim prelazima, a kvarto-stan za smanjenje debljine lima do krajnje granice.

Valjke treba hladiti, tako da njihova temperatura ne prelazi 250°, inače se lim lepi na valjke.

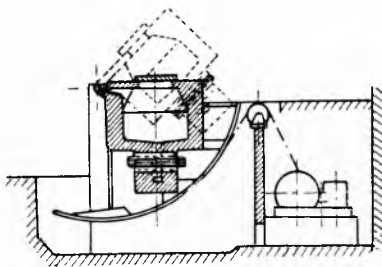
Okrugli i drugi profili se izrađuju obično presovanjem, ali katkada i vrućim valjanjem među *kalibriranim valjcima*. Ingoti mogu biti liveni, presovani ili kovani.

Hladno valjanje. Obično se sa vrućim valjanjem prestane kad je postignuta ona dimenzija koja omogućuje najmanje 60% deformacije pri hladnom valjanju. Vruće predvaljane ploče i platine se valjaju bez prethodnog žarenja do konačne dimenzije na duo-, trio- ili kvarto-stanovima. Hladnim valjanjem se materijal jako očvršćuje; čvrstoća se povisuje skoro na dvostruko, a istezanje se vrlo smanjuje. Ako su deformacije pri tome velike, treba međuprodukte omekšavati žarenjem pre daljeg valjanja. Pri tom mora nastupiti rekristalizacija. Najveći kristali se stvaraju kad su hladne deformacije malene, u granicama 2...10%, zavisno od materijala. Ovaj *kritični stepen deformacije* treba izbegavati.

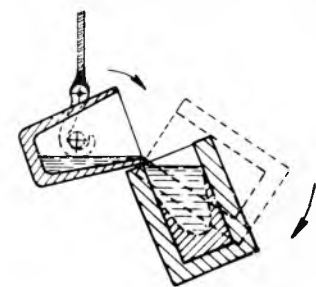
Trio- ili kvarto-stanovi omogućuju upotrebu većih pritisaka, što je potrebno zbog velikog otpora hladnog materijala. Na kraju prelazi gotovi lim još duo-stan s poliranim čeličnim valjcima.

Trake (pojasi) od aluminijuma i lakih legura izrađuju se sve više. Na specijalnim valjačkim stanovima valjaju se predvaljane ploče odn. platine do debljine ~ 3 mm, a dalja deformacija se vrši istovremenim hladnim valjanjem i vučenjem mašine za namotavanje ili kočenjem odmotavanja trake. Slično se postupa pri izradi folija debljine 0,1...0,02 mm, na stanovima sa četiri ili šest valjaka. Još tanje folije, ispod 0,01 mm, izrađuju se istovremenim valjanjem više traka. Taj postupak, *valjanje u paketima*, upotrebljava se i za izradu limova tanjih od 1 mm. Čisti aluminijum može se izvaljati u folije debljine od 0,008 mm naviše, pogodne lake legure i do debljine od svega 0,001 mm.

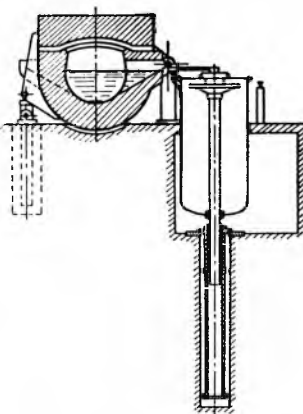
Presovanje. Profili najrazličitijih oblika i dimenzija, kao i cevi od aluminijuma i lakih legura, izrađuju se sve više presovanjem u vrućem. Temperatura zagrejanog ingota je približno ista kao pri vrućem valjanju. Osnovna razlika je u tome što je valjanje deformacija u više stepena a presovanjem se materijal deformira jednim jediničnim prolaskom kroz matricu. Velika je pred-



Sl. 9. Niskofrekventna indukcijiska peć za livenje



Sl. 10. Livenje ispravljanjem kokile



Sl. 11. Polukontinualno livenje ingota

nost presovanja da se može vrlo lako menjati oblik proizvoda i da se mogu izrađivati i male količine.

Za aluminijum i lake legure upotrebljavaju se hidraulične prese, i to za niže sile pritiska, do 1000 Mp, vertikalne, a za više sile pritiska, 2000...10 000 Mp, horizontalne. Livene ingote, sa 150...200 mm $\varnothing$, treba prethodno na površini očistiti, eventualno ostrugati. Najpodesniji su ingoti izrađeni polukontinualnim livenjem, jer nemaju lunkere ili uključke. Ingoti se zagrevaju na temperaturama između 400 i 500°, zavisno od sastava, u potisnim pećima, koje se lože najviše električno, katkada i plamenom. Zagrejani ingot se umetne u recipijent prese, koji se električno zagreva na 400°. Klipom koji se goni hidrauličnim pritiskom istiskuje se plastičan materijal kroz profiliranu matricu izrađenu od specijalnog čelika. Sl. 12 prikazuje shematski deformaciju ingota pri prolasku kroz matricu. Brzina izlaženja (istiskivanja) proizvoda je to veća što je manji otvor matrice. Oko matrice ostaje venac materijala koji ne može izaći. Ako se izrađuju profili s malim presekom, upotrebljavaju se matrice sa više otvora. Presovanjem se izrađuju također cevi i šupljii profili. U tim slučajevima se u matricu umetne uložak koji odgovara unutrašnjem obliku profila. Taj postupak se upotrebljava za presovanje ingota koji su bili već izliveni sa centričnom šupljinom. Velike prese imaju dvojni klip: najpre se zagrejeni ingot u recipijentu probušu po dužini trnom a zatim se istiskuje cev kroz otvor među trnom i matricom.

Izrada matrica za komplikovane profile zahteva veliku veštinu, naročito ako treba izraditi matricu sa više otvora.

Izvlačenje presovanih poluproizvoda. Često je nemoguće izraditi dovoljno tanke profile ili cevi samim presovanjem. Tada se upotrebljava postupak izvlačenja kroz matricu kao što se to radi sa žicom. Presovani profil treba najpre na kraju zašiljiti, zatim se šiljak proturi kroz matricu za izvlačenje, uhvati kleštima i ukopča stroj za izvlačenje i namotavanje. Pri izvlačenju cevi upotrebljava se trn koji treba da stoji centrično u matrici.

Kovanje. Neke lake legure su vrlo podesne za prerađivanje, naročito legure AlMgSi, AlCuMg, AlCuNi, AlZnMg i AlMg (do 5% Mg). Kovanje može biti *ručno*, tj. udarcima čekića deformiše se zagrejani poluproizvod, koji se istovremeno okreće, ili se kuje u kalup. U tom je slučaju deformacija izvršena jednim padom čekića ili udarom prese. Ručno ili slobodno kovanje se upotrebljava kad treba izraditi mali broj proizvoda. Kovanje ili presovanje u kalup se isplati ako se serijski proizvodi velik broj jednakih komada, jer je izrada kalupa vrlo skupa.

Temperatura kovanja su 360...460°, prema sastavu legure. Često se za kovanje upotrebljavaju presovani ili valjani poluproizvodi, katkada i liveni ingoti, ali tek pošto je s njihove površine odstranjena kora.

Čekići i nakovnje treba zagrevati na 100...150°. Kalupe u koje se kuje ili presuje treba zagrevati na 250...400°.

Ručno kovanje je potrebno i za vrlo velike komade koji se ne mogu deformisati presovanjem ili valjanjem. I pre kovanja u kalup se veći komadi prethodno kuju ručno na približne dimenzije. Polufabrikat se naizmenično zbija i raskiva, da se dobije ravnomerna struktura.

Kovanjem ili presovanjem u kalupu se mogu izraditi proizvodi koji imaju tačne dimenzije i veliku čvrstoću. Izrada kovačkih kalupa zahteva veliku veštinu. Treba izbegavati oštre prelaze, gomilanje materijala i velike razlike u presecima. Za komplikovane proizvode treba jedan ili više međufaznih kalupa. Obično se kuje (presuje) u dva kalupa, u donji i gornji.

Kovački čekići i prese različitih konstrukcija se upotrebljavaju katkada i uzastopce. Korisno je prethodno presovanje, valjanje ili ručno kovanje ingota. Za manje komade se upotrebljavaju čekići koji dejstvuju padom i prese s ekscentrom ili ručicom. Za veće i velike komade služe teške hidraulične prese. Usled manje brzine deformacije dobija se ravnomernija struktura proizvoda, a i kalupi manje trpe.

Aluminijumske žice i užeta. Aluminijum je vanredno podesan za prenos električne energije, jer ima visoku električnu pro-

vodljivost, malu specifičnu težinu i dobru hemijsku postojanost. Posle zlata, srebra i bakra aluminijum ima najveću električnu provodljivost, i to 35 m/Ω mm² (za tehnički aluminijum), prema 56 m/Ω mm² za tvrdo vučeni E-Cu. Odnos relativnih gustina je 2,7 prema 8,9, zbog čega bakrenom provodniku odgovara aluminijumski koji ima samo 48,5% težine bakra. Presek provodnika od aluminijuma je veći, i to 1,6 puta toliki kao presek bakrenog provodnika, a prečnik je 1,27 puta toliki kao prečnik bakrenog provodnika. Čvrstoća tvrdog vučenog E-Al je 13...18, a E-Cu 40...45 kp/mm². To znači da treba za aluminijumska užeta više potpornih stubova. Aluminijumski provodnici dolaze zbog toga u obzir u prvom redu za niski napon i lokalne mreže.

Sve legure aluminijuma imaju manju provodljivost od aluminijuma samog. Za električne provodnike se upotrebljava pored aluminijuma i legura E-AlMgSi (Aldrey), koja ima sastav: 0,4...0,5% Mg, 0,5...0,6% Si i najviše 0,3% Fe (ostatak je Al). Čvrstoća legure E-AlMgSi je dva puta veća od čvrstoće E-Al, a električna provodljivost joj je 31 m/Ω mm². Ekvivalentni presek je 180% preseka bakra, a ekvivalentni prečnik 135% prečnika bakrene žice. Užeta od Aldreya se upotrebljavaju naročito za visoki napon, sa sličnim odstojanjima potpora kao za bakrena užeta.

Još veća odstojanja potpornih stubova omogućuje upotreba aluminijumskih užeta s unutrašnjom čeličnom jezgrom (alučel). Oko užeta od pocinčanih čeličnih žica pleteno je aluminijumsko uže od više redova žice. Sl. 13 prikazuje neke primere. Odnos ukupnog preseka čeličnih žica prema preseku aluminijumskih žica može biti 1 : 6, 1 : 4 ili 1 : 3. Za visoki napon se upotrebljavaju užeta od aldreya ili alučela 1 : 6, a za vrlo velike raspone, npr. preko reka, užeta od alučela 1 : 4 ili 1 : 3.

Oko godine 1950 vršili su se i pokusi upotrebe užeta od čistog aluminijuma za visoke napon (Kidričevo-Pekre).

Žica se izrađuje *valjanjem ili presovanjem* na 425...475° (za aluminijum) i 480...500° (kao početna temperatura vrućeg gnječenja za Aldrey). Ispod 10 mm (za Al) i 15 mm (za Aldrey) presek se smanjuje izvlačenjem kroz matrice. Matrice su od specijalnih čelika, od tvrdih metala ili od dijamanta. Prelazom kroz niz matrica različitog prečnika dobija se žica tražene dimenzije. Za vreme izvlačenja treba žicu mazati.

Livenje. Mnogi proizvodi od aluminijumskih legura izrađuju se livenjem u kalupe. Razlikuje se livenje *u pesak* (u peščane kalupe), livenje *u kokile*, tj. u metalne kalupe, i livenje *pritiskom* u metalne kalupe.

Livenje u pesak se upotrebljava za izradu velikih i komplikovanih odlivaka i kad se lije jedan komad ili manji broj jednakih komada. Model se obično izrađuje od suhog drveta. Kada se lije više od 50 komada isplati se već izrada metalnog modela (od aluminijuma).

Aluminijumske legure se liju ili u neosušeni («zeleni») pesak, ili u peščani kalup koji se pre livenja površinski osuši plamenom. Vodena para treba da ima mogućnost izlaza kroz pore kalupa i kroz nalivke. Zbog toga ne sme pesak sadržavati mnogo prašine ispod veličine zrna 0,1 mm, najviše 20%. Sastav prirodnog peska je: 75...80 % SiO₂, 10...25 % gline, ostatak Fe₂O₃, CaO, MgO itd. Često se upotrebljava i sintetični pesak sa višim sadržajem kvarca i sa specijalnim dodacima, kao bentonita, smole, lanenog ulja i dr.

Pri izradi modela treba računati s linearnim skraćivanjem dimenzija čvrstog komada za 1...1,4 %, što zavisi od sastava legure. Prelome pravca treba zaokružiti, izbegavati lokalno nagomilavanje metala, za pojačanje upotrebljavati rebra i pravilno dimenzionisati dolivne kanale i nalivke (glave). Raspodela dolivnih kanala treba da bude takva da tekući metal napuni kalup što ravnomernije, bez vrtloga brzo, odozdo prema gore. Na mestima gomilanja metala treba dodati glave, iz kojih tekući metal dopunjava lunkere u proizvodu. Tamo gde nije moguće namestiti glavu, a treba ubrzati hlađenje, uložne se u pesak metalne ploče za hlađenje, koje brzo odvedu toplotu.

Sl. 12. Deformacija ingota presovanjem

Sl. 13. Aluminijumska užeta. a) puno aluminijumsko uže, b) uže alučel 1 : 6 sa 7 žica, c) uže alučel 1 : 6 sa 33 žice, d) uže alučel sa prigušivanjem trenjenja. Različitim šrafulom označen je smer pletenja

Kalup se izrađuje pomoću modela, koji može da bude od više delova, i pomoću jezgara koja odgovaraju unutrašnjim šupljina proizvodima. Model i jezgra se nabijaju peskom sa svih strana, i to ili ručno ili mašinama za kalupljenje. Nabijanje peska treba da je lagano, ne tvrdo kao za čeliko ili bronz. Posle odstranjenja modela delovi kalupa se brzo površinski osuše plamenom i sastave. Ako su komadi veliki, treba katkada delimično osušiti u sušari i ceo kalup.

Tečni metal treba pre livenja ohladiti na pravilnu temperaturu livenja koja je, prema sastavu legure, u granicama 680...750°. Pre ulivanja površina metala dobro se očisti, a rastopljeni metal se eventualno i modifikira (silumin). Livenje treba izvršiti tako da metal teče ravnomerno u kalup i da se ne razori oksidna skrama na metalu.

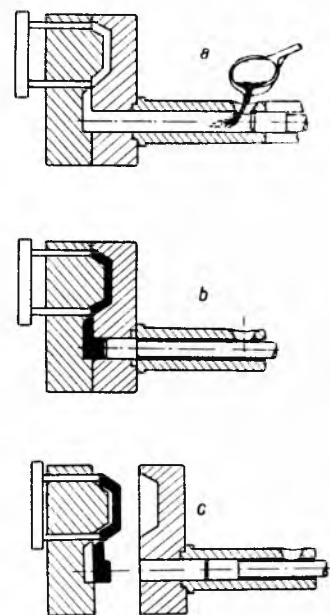
Livenje u kokile. Aluminijum i lake legure su zbog niske tačke topljenja vanredno podesne za masovnu produkciju manjih proizvoda livenjem u metalne kalupe. Trajnim kalupima se mogu vrlo brzo izraditi na stotine komada, koji zahtevaju malo dalje obrade. Izrada kokile zahteva vremena i veštine, a livenje može izvršiti i priučen radnik. Površina proizvoda je glatka, bez uključaka peska, proizvod je gust, s manje pora nego kad je liven u pesak. Struktura je sitnozrnata i zbog toga je čvrstoća veća. Livenjem u kokilama izrađuju se komadi težine do 100 kg.

Kokile se izrađuju od perlitnog livenog čelika, a za jezgra se upotrebljava čelik. Budući da metal nije porozan, treba ostaviti male otvore za izlaz vazduha i gasova pri livenju.

Za livenje u kokile su najpodesnije eutektičke legure tipa silumin (AlSi 12), takođe slične legure s dodacima Ni ili Mg. I legure tipa AlSiCu i AlCuSi se upotrebljavaju za livenje u kokile. Legure koje sadrže cink viskoznije su te s time treba računati, tj. dolivni kanali treba da imaju veće preseke.

Metalni kalup dopušta regulaciju očvršćavanja hlađenjem ili zagrevanjem, kao i mazanjem vruće kokile emulzijom grafita ili kaolina. Obično se legura topi u peći s loncem i kašikom se uliva u kokile rasporedene do peći. Temperatura legure treba da je što niža, ~ 700...750°.

Pri izradi same kokile treba izbegavati velike razlike u debljini zidova proizvoda. Kokilu treba zagrevati bar na 100...200°. Posle ulivanja metala treba što pre izvući čelična jezgra, otvoriti kokilu i izbaciti stvrdnuti proizvod.



Sl. 14. Livenje pritiskom. a livenje tečnog metala, b potiskivanje tečnog metala klipom, c izbijanje odliva

Livenje pritiskom (brizgani liv) upotrebljava se za metale i legure s niskom tačkom topljenja, kao olovo, kalaj i cink, za legure aluminijuma i magnezijuma i za neke bakrene legure. Princip je ovaj: tečni ili testasti metal se potisne visokim pritiskom u čelični kalup, gde ostaje pod pritiskom do očvršćavanja. Zatim se kalup otvori, liveni komad izbaci, kalup opet zatvori i ciklus rada se ponovi. Pritiskom liveni proizvod obično ne treba skoro nikakve dalje obrade. Površina je glatka, struktura je zbog brzog hlađenja gusta i sitnog zrna, a čvrstoća i tvrdoća površinskog sloja je veća od čvrstoće i tvrdoće proizvoda livenih u pesak. Postupak livenja pritiskom upotrebljava se za masovnu produkciju malih komada, ali katkada i komada težine 10...20 kg.

Za livenje pritiskom preporučuju se ove Al-legure (prema DIN 1725/2):

- D AlSi13 (11...13 % Si, 0...0,7 % Mn, 0...0,5 % Mg),
- D AlSi7 (6...10 % Si, 0,2...0,7 % Mn, 0...0,5 % Mg),
- D AlMgSi (0,3...2,5 % Mg, 1,5...5 % Si, 0...1,5 % Mn),

D AlMg9 (6...10 % Mg, 0,2...0,7 % Mn),

D AlSiCu (5...6,5 % Si, 2...3 % Cu, 0,2...0,6 % Mn).

Sve te legure mogu sadržavati do 1,5 % Fe. Čvrstoća tih legura je 16...26 kp/mm², istezanje 3...1%, a tvrdoća HB 55 do 85 kp/mm².

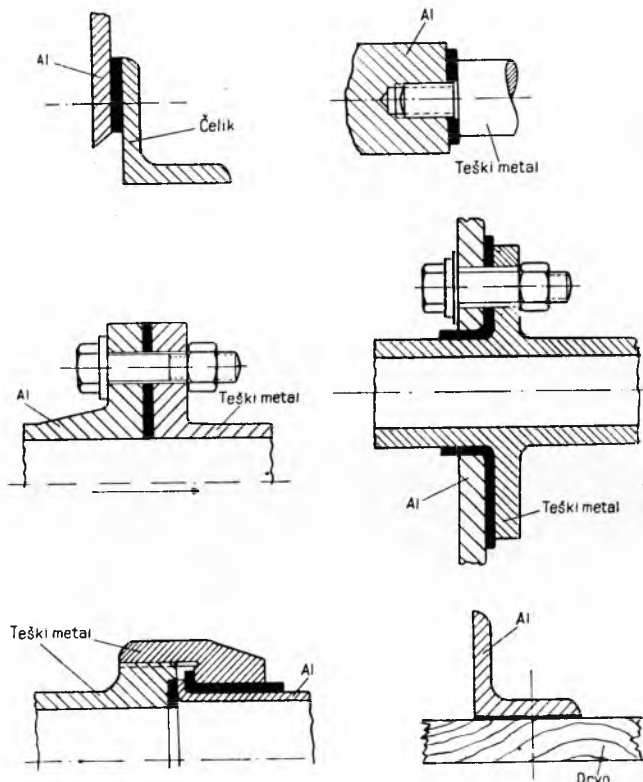
Za livenje aluminijumskih legura pritiskom upotrebljavaju se najviše mašine s hladnom komorom. Određena količina tečnog metala nalije se kašikom kroz posebni otvor u livnu komoru mašine. Klip zatvori taj otvor i potisne metal pritiskom 300 at i više u pripremljeni kalup. Sl. 14 prikazuje tri faze rada mašine sa horizontalnom livnom komorom.

Kalupi za livenje pritiskom treba da su od specijalnih čelika, legiranih sa Cr, Cr-Ni ili Cr-W.

Pri livenju pritiskom mogu se istovremeno učvrstiti u livni proizvod i ulošci od drugih metala, kao čelične matice, ležajne školjke i slično.

Spajanje

Malo koji proizvod od aluminijuma ili njegovih legura može se upotrebljavati odmah posle gnječenja odn. livenja. Obično treba pojedinačne delove sastaviti i spojiti u gotovi proizvod. Kad delovi treba da budu takvi da se mogu rastavljati, upotrebljavaju



Sl. 15. Spajanje aluminijumskih delova s delovima od drugih materijala

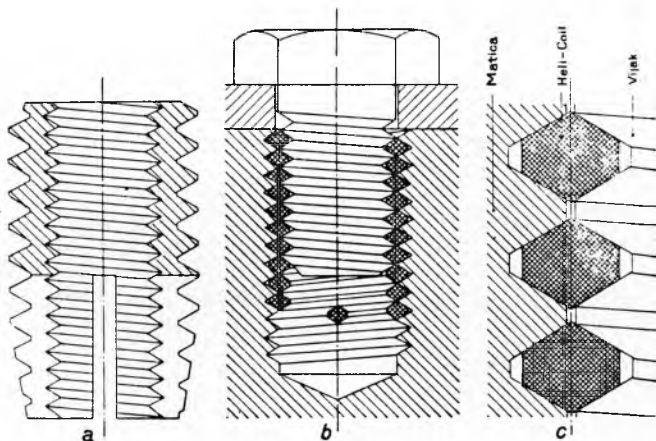
se vijčani, zglobni i zatični spojevi. Stalni spojevi stvaraju se previjanjem, utiskivanjem, zakivanjem, šivenjem, zavarivanjem, lemljenjem ili lepljenjem.

Kad u nekim konstrukcijama treba da se delovi od aluminijuma spajaju s delovima od drugog materijala (npr. čelika, bakra, drveta), treba provesti specijalne mere izolacije kako bi se izbegao neposredan dodir različitih materijala i sprečila korozija (sl. 15).

Spajanje vijcima. Aluminijumski vijci po svojem obliku odgovaraju standardnim oblicima za čelične vijke. Zbog karakteristike materijala treba posvetiti naročitu pažnju zaobljenju prelaza između stabla i glave vijka. Za vijke većih dimenzija preporuča se trapezni ili obli narez. Da bi se izbegla mogućnost korozije upotrebljavaju se vijci istog ili sličnog sastava kao metal koji se spaja. Npr. za spajanje delova od aluminijuma ili legura AlMn vijci od toplotno obrađenog AlMgSi ili AlMg; za legure koje sadržavaju bakar, vijci su od toplotno obrađenog AlCuMg; za delove od AlMgSi toplotno obrađeni vijci istog sastava ili od AlMg; za delove od AlMg vijci istog sastava ili od AlMgSi. Opas-

nost habanja ili zagrizanja vijaka koji se često skidaju izbegava se anodnom oksidacijom i natapanjem u smeši voska i parafina na 130°C. Vijci naročito opterećeni na habanje tvrdo se kromiraju. Kad se upotrebljavaju čelični vijci za spajanje aluminijumskih konstrukcija, oni moraju biti pocinkovani, kromirani ili kadmirani. Pod glavu vijka ili maticu meće se pocinkovana ili kadmirana podložna pločica trostrukog prečnika. Nikad se ne smeju upotrebljavati mesingani vijci za lake legure.

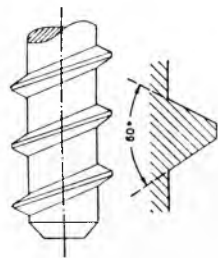
Da se narez u delovima pri čestom odvrtanju i zavrtanju vijaka ne bi izgledao, u levane komade mogu se uliti čelični ulošci, ili se takvi ulošci mogu uvrnuti, kao npr. tzv. »insert« prikazan na sl. 16a, koji se spoljnim narezom urezuje u sam komad, a unutarnji



Sl. 16. U aluminijumu uvrnuti čelični ulošci s narezom. a insert, b heli-coil, c detalj heli-coila

mu je narez za vijak. Donji deo izrađen je konično i ima procepe koji osiguravaju od odvrtanja i uložak i vijak. U istu svrhu primenjuje se i uložak »heli-coil« (sl. 16b), čelična spirala romboidnog preseka koji tvori spoljni i unutarnji narez.

Vijci se osiguravaju od odvrtanja na različite načine koji su običajni i u čeličnim konstrukcijama.

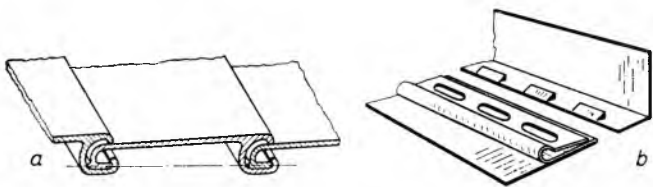


Sl. 17. Samorezni vijak

U gradnji karoserija, i općenito u lakoj industriji, mnogo se primenjuju tzv. samorezni vijci, tj. vijci koji sami sebi urezuju navoj u prethodno provrtanoj rupi manjeg prečnika. Da bi to bilo moguće, vijci moraju, dakako, biti tvrdi od elemenata koje spajaju; obično su od kromiranog čelika ili od antikoro-čelika. U novije vreme vršeni su pokušaji s vijcima od specijalnih anodno oksidiranih aluminijumskih legura. Sl. 17 prikazuje karakterističan oblik nareza samoreznih vijaka.

Vijci za drvo izrađuju se uglavnom od legura AlCuMg, AlMgSi i AlMg5. Obično se izrađuju s križnim utorom na glavi i uvrću se specijalnim križnim uvrtačem.

Zglobni i zatični spojevi. Usled mogućnosti povoljnog oblikovanja presovanih profila, moguće su vrlo raznolike kombinacije takvih spojeva. Na sl. 18a prikazan je zglobni spoj koji se primenjuje za rolce, a u nešto modificiranoj izvedbi i za oplate.



Sl. 18. Zglobni spojevi. a zglobni spoj za rolce, b elastičan zglobni spoj

U proizvodnji ambalaže, pokušaja i lakih montažnih objekata primenjuje se elastični spojevi koji omogućuju brzu montažu i

demontažu, a pri tome imaju dovoljnu čvrstoću (sl. 18b). Karakterističan zatični spoj koji nalazi primenu naročito u montažnim konstrukcijama prikazan je na sl. 19.

Previjanje se primenjuje uglavnom za čisti aluminijum i za meke ili polutvrde legure AlMn. Upotrebljava se u proizvodnji ambalaže, pri pokrivanju krovova, izradi nekih cevni vodova itd.

Utiskivanje se primenjuje za spajanje manjih delova, ali se može upotrebiti i za veće elemente, naročito u građevinarstvu. Kao primer prikazan je na sl. 20 ugaoni spoj jednog prozorskog okvira (sistem Koller).

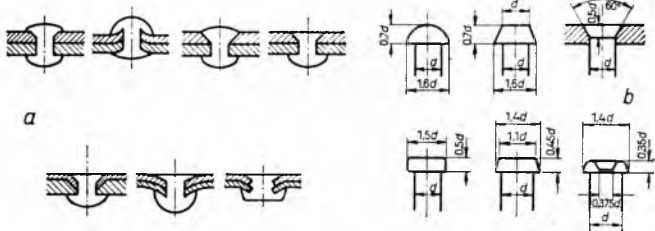
Zakivanje se mnogo upotrebljava za spajanje delova od aluminijumskih legura, naročito u gradnji aviona. Konstrukcijski delovi i krovni lim su obično od toplotno obrađenih legura. Vrućim spajanjem, kao npr. autogenim ili elektrolučnim varenjem, smanji se čvrstoća u blizini šava, a time i čvrstoća cele konstrukcije. S tog razloga se lake legure obično zakivaju hladno. Rupice za zakovice treba tačno izvrtati, a ne izbušiti probijanjem. Prečnik rupe je za zakovice do 10 mm $\varnothing$ samo za 0,1 mm veći, a za deblje zakovice za 0,2 mm

veći od prečnika zakovice. (Za čelične zakovice, koje se zakivaju vruće, razlika prečnika je 1 mm.)

Sastav zakovica treba da je jednak sastavu delova koji se spajaju, ali zakovice treba da budu malo mekše. Obično se zakivaju konstrukcijski delovi od aluminijuma ili legura AlCuMg, AlCuMg pl, AlMgSi, AlMg3, AlMg5, AlMgMn i AlMn. Kad se spajaju delovi od legura različitog sastava, izoliraju se jedni od drugih lakiranjem ili pojasom platna s bitumenom. Upotreba minija nije dopuštena.

Za spajanje aluminijumskih delova sa čeličnim upotrebljavaju se čelične zakovice. Između glave zakovice i aluminijuma treba umetnuti pocinkovanu ili kadmirumom obloženu pločicu. Među aluminijumske i čelične delove koji se spajaju dolazi izolacija (lakiranje ili bitumen), a celi zakovani spoj se bojadiše.

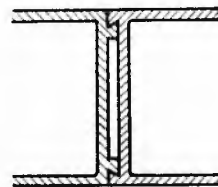
Pri spajanju magnezijumskih legura sa delovima od aluminijumskih legura treba prethodno lakirati dodirna mesta. Nikako se ne smeju za zakivanje lakih legura upotrebljavati zakovice od bakra i njegovih legura.



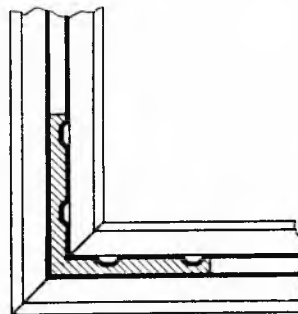
Sl. 21. Zakovice. a zakovice za tanke limove, b glave zakovica većih prečnika

Zakovice od lakih legura, kojima se zakiva hladnim kovanjem, mogu imati prečnik najviše 12 mm. Umesto debljih upotrebljava se veći broj tanjih zakovica.

Oblik glava zakovica je različit. U gradnji aviona ili brodova dolaze u obzir poluupuštene ili upuštene glave, da se smanji otpor prema vazduhu odn. vodi. Sl. 21a prikazuje neke oblike zakovica za tanke limove a sl. 21b završne glave zakovica većih prečnika. Katkada treba spojiti konstrukcijske delove koji sa druge strane nisu pristupačni. Za to postoje zakovice sa šupljim trupom i niz više ili manje komplikovanih alata za zakivanje njima. Sl. 22a prikazuje, radi primera, Chobertovu zakovicu i način zakivanja

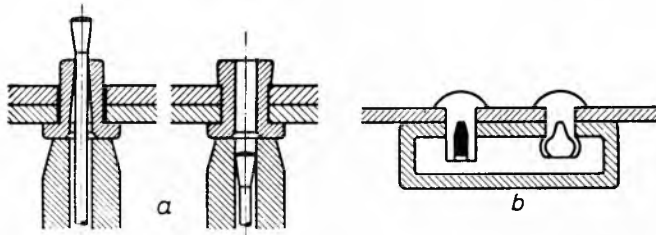


Sl. 19. Zatični spoj



Sl. 20. Ugaoni spoj prozorskog okvira ostvaren utiskivanjem

njome. Umesto takvih zakovica upotrebljavaju se i tzv. *termo-zakovice*, koje imaju u donjem delu trupa mali termitni naboj. Kad se glava zakovice čekićem za lemljenje kratko zagreje, naboj eksplodira i time se trup proširi, kako to prikazuje sl. 22 b.

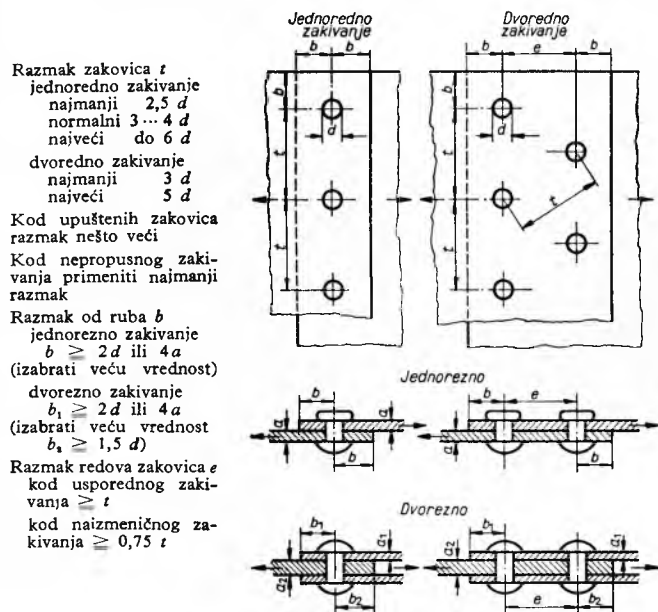


Sl. 22. Specijalne zakovice. a Chobertova zakovica, b termo-zakovica

Zakovice od legura AlCuMg treba kratko vreme pre upotrebe nanovo toplotno obraditi, tj. zagrevati na 500° i kaliti u hladnoj vodi. Zakovice se moraju upotrebiti najviše četiri sata posle kaljenja. Zakovice od drugih legura isporučuju se takve da su odmah upotrebljive. Punu čvrstoću dostižu zakovice od AlCuMg tek posle 5 do 6 dana.

Zakivanje se vrši ručnim sabijanjem trupa zakovica čekićem, upotrebom pneumatičnih čekića ili pomoću specijalnih automata. Te mašine vrše više operacija uzastopce, a raskivanje trupa se vrši pritiskom, ne udarom. Pri radu ručnim ili pneumatičnim čekićem treba sa druge strane podržavati glavu zakovice specijalnim alatom.

Propisi za izvođenje zakovičnog spoja prikazani su na sl. 23.



Sl. 23. Zakovični spojevi — propisi

Šivenje je postupak koji se upotrebljava sve više za manje opterećene spojeve. U tom slučaju otpada prethodno bušenje rupa. Za pričvršćenje kože, hartije, sukna ili drveta na limene delove šivenje je naročito pogodno. Spojnice su od čelične žice, koja probuši lim pa se sa druge strane previje, slično kao pri spajanju hartije. Čelična žica treba da je pocinkovana ili od čelika koji ne rđa. Debljina limova koji se na taj način mogu spajati je ograničena.

Zavarivanje. Načelno se mogu zavarivati sve aluminijumske legure kao i čisti aluminijum, ali postoje izvesne teškoće pri zavarivanju upravo onih legura koje se upotrebljavaju za nosive konstrukcije. Legure otvrdnute hladnom preradom ili toplotnim postupkom kaljenja i dozrevanja gube svoju čvrstoću u zoni vara pod uticajem toplote zavarivanja i dobivaju mehaničke osobine materijala u mekom stanju. Step en smanjenja mehaničke otpornosti zavisi od vrste legure i primenjenog postupka zavarivanja.

Postupci zavarivanja aluminijumskih materijala dele se na postupke *zavarivanja topljenjem* i *zavarivanja pritiskom*.

Postupci zavarivanja topljenjem jesu: *gasno zavarivanje (autogeno)*, *električno zavarivanje*, *zavarivanje atomizovanim vodenikom* i *zavarivanje u struji inertnih gasova*.

Postupci zavarivanja topljenjem. Iako je tačka topljenja aluminijuma i lakih legura mnogo niža od tačke topljenja čelika, lakim legurama treba dovoditi više toplote zbog njihove veće toplote topljenja i veće specifične toplote, kao i njihove visoke toplotne provodljivosti. Druga razlika prema čeliku je u ponašanju oksidne prevlake, koja se na železu redukuje upotrebljenim gasovima, dok sloj aluminijum-oksida na visokim temperaturama varenja još odeblja, a ne prelazi u tečno stanje. Osim toga, čim se on na neki način mehanički ili hemijski odstrani, trenutno se opet regenerira na vazduhu. Aluminijum-oksidi ima veću specifičnu težinu nego aluminijum te se lako uklapa u rastopljeni kupku vara smanjujući čvrstoću zavarenog spoja. Pri elektrolučnom kao i gasnom načinu zavarivanja upotrebljavaju se topila za uklanjanje toga oksida. Kako topila izazivaju koroziju, potrebno je temeljito očistiti var od ostataka šljake i soli. Upotreba topila se potpuno eliminiše uvođenjem plemenitih gasova pri zavarivanju.

Gasno zavarivanje (autogeno) je postupak zavarivanja pri kojemu se topljenje materijala vrši plamenom pogodnih gasova. Najviše se primenjuje smeša kiseonika i acetilena, jer daje najvišu temperaturu plamena ($3060\cdots3120^\circ$). Gasovi za zavarivanje se dovode i drže u čeličnim bocama pod visokim pritiskom. Te boce imaju obično zapreminu 40 litara. Kiseonik se nalazi u njima pod pritiskom od $125\cdots150$ at, aceten je otopljen u acetonu pod pritiskom od 15 at. Količina gasova je u svakoj boci po prilici 6 m^3 . U manjim pogonima upotrebljavaju se razvijači u kojima reakcijom između kalcijum-karbida i vode nastaje aceten.

Plamen za zavarivanje aluminijumskih materijala mora uvek biti neutralan. U reduktivnoj atmosferi, tj. u atmosferi s viškom acetilena, dolazi do apsorpcije vodonika i pojačanog poroziteta u zavarenom spoju. U oksidativnoj atmosferi dolazi do reagiranja s kiseonikom i stvaranja štetnih oksida.

Topila koja se upotrebljavaju za odstranjivanje oksidnog filma s površine aluminijumskih materijala smeša su klorida i fluorida alkalijskih metala. Tačka topljenja smeše mora biti bar 100° niža od tačke topljenja aluminijuma. Topilo u tečnom stanju reagira s aluminijum-oksidiom i rastvara ga. Specifična težina rastopljenih soli nakon rastvaranja Al_2O_3 mora biti manja od specifične težine rastopljenog metala da bi so plivala na površini noseći sa sobom nečistoće i ujedno štiteći površinu kupke vara od ponovne oksidacije i apsorpcije gasova. Budući da su topila obično higroskopna, treba ih čuvati u zatvorenim bocama. Posle dovršenog zavarivanja potrebno je dobro odstraniti ostatke soli s površine zavarenog šava, da ne dođe do korozije.

Prečnik i sastav dodatne žice za gasno zavarivanje zavisi od debljine i legure materijala koji treba zavariti, od potrebe naknadne toplotne obrade, od tražene čvrstoće, površinske obrade kao i od same konstrukcije. Čisti aluminijum i legure aluminijuma s manganom zavaruju se žicama istoga sastava. Za ostale legure važi pravilo da se zavaruju žicama istoga tipa legure, ali s većim sadržajem jedne legurne komponente.

Priprema rubova pre zavarivanja ravna se prema debljini osnovnog materijala. Za lim debljine $0,3\cdots3\text{ mm}$ dolazi u obzir povrtna ivica za rubni šav ili I-šav. Limovima iznad 3 mm obrađuje se ivica u obliku V-šava, a još debljim limovima u obliku X-šava. Pre početka zavarivanja potrebno je materijal predgrejati na $\sim 350^\circ\text{C}$.

Elektrolučno zavarivanje je postupak pri kojemu se topljenje materijala vrši električnim lukom. S obzirom na način stvaranja luka i odvijanja procesa zavarivanja razlikuje se zavarivanje metalnom elektrodom i zavarivanje ugljenom elektrodom. Pri zavarivanju metalnom elektrodom električni se luk stvara u slobodnoj atmosferi između metalne elektrode i materijala koji se zavaruje. Rastopljeni metal elektrode služi kao dodatni materijal. Elektrode su oploštene smešom soli sličnog sastava kao i topila pri gasnom zavarivanju i imaju istu zadaću: rastvaranje Al_2O_3 i sprečavanje ponovne oksidacije rastopljene kupke vara. Princip pri izboru legure dodatne žice isti je kao i za autogeno zavarivanje.

Priprema rubova je slična kao i za gasno zavarivanje. Rubovi lima debljine do 10 mm skošavaju se u obliku V-šava, kut nagiba je otprilike 60°. Obično se ostavlja donja trećina debljine lima neskošena. Upotrebljava se istosmerna struja. Elektrode se priključuju na pozitivni pol. Napon mrtvog hoda ne sme biti manji od 50 V. Potrebno je predgrejivati samo deblje delove (od 5 mm naviše).

Elektrolučno zavarivanje dopušta do 4 puta veću brzinu rada nego gasno.

Pri zavarivanju ugljenom elektrodom električni luk se stvara u slobodnoj atmosferi između ugljene elektrode kao negativnog pola i dela koji se zavaruje kao pozitivnog pola. Radi se ili s oplštenim elektrodama i sa žicom uz upotrebu topila. Upotrebljava se za reparaturno zavarivanje odlivaka i za zavarivanje tankih limova.

Zavarivanje atomizovanim vodonikom. Postupak Arcatom sličan je po tehnici rada autogenom. U desnoj ruci drži se plamenik kao izvor toplote, a u levoj dodatna žica. Izvor toplote sastoji se od dve učvršćene volframske elektrode između kojih se stvara električni luk izmeničnom strujom. Oko volframskih elektroda struji vodonik prema mestu zavarivanja. Na visokoj temperaturi električnog luka ($\sim 6000^\circ$) disocira se molekularni vodonik u atome trošeći pri tome izvesnu količinu toplote. Ova se toplota oslobađa u trenutku kada vodonikovi atomi dođu u dodir s površinom metala gde se ponovno spajaju u molekule. Na taj način prenosi vodonik toplotu električnog luka na mesto zavarivanja. Dalja uloga vodonika u ovom postupku je u tome da štiti i volframske elektrode i samo mesto zavarivanja od oksidacije.

Vodonik ne može razoriti tanki sloj oksida na površini i zato se moraju upotrebljavati topila. Zbog visoke temperature električnog luka nije potrebno predgrejavanje. Ovim postupkom mogu se zavarivati i limovi debljine svega 0,5 mm.

Zavarivanje u struji inertnih gasova obuhvata postupke pri kojima su električni luk i kupka vara zaštićeni plemenitim gasovima, argonom ili helijumom. Plemeniti se ti gasovi zovu zbog toga što ne reaguju s metalima na povišenoj temperaturi. Budući da električni luk disperguje oksidni film na površini aluminijuma, a kiseonik nema pristupa jer je atmosfera zaštićena argonom, ne dolazi do ponovne oksidacije pa se ne moraju upotrebljavati topila. U tome je velika prednost ovog načina zavarivanja prema napred spomenutim, jer se potpuno izbegava operacija naknadnog čišćenja od ostataka soli i šljake. Tipovi spojeva nisu ograničeni s obzirom na konstrukciju, jer nema straha od ostataka šljake kao uzroka buduće korozije. Može se zavarivati u svim položajima. Varovi imaju dobre mehaničke osobine i otporni su protiv korozije. Razlikuje se postupak s netopljivom elektrodom i postupak s elektrodom koja se troši.

Pri *postupku s netopljivom elektrodom* između volframske elektrode i materijala koji se zavaruje stvara se električni luk. Kroz sapnice oko-volframske elektrode struji argon prema mestu zavarivanja; sapnice su hladene vodom. Upotrebljava se izmenična struja. Žica za ispunjavanje šava posebno se dodaje. Postupak može biti i poluautomatski. Internacionalna kratica za ovaj postupak je TIG (Tungsten Inert Gas). Dolazi u obzir uglavnom za zavarivanje materijala debljine 1,5...6 mm.

Pri *postupku s elektrodom koja se troši* električni se luk stvara između dodatne žice i materijala koji se zavaruje. Dovod žice (elektrode) je automatski. Argon struji kroz sapnice oko elektrode. Radi se istosmernom strujom, a elektroda je priključena pozitivnom polu. Prečnik elektrode se kreće od 1,6 do 2,4 mm. Brzina rada je veća nego pri upotrebi volframske elektrode. Ovaj postupak se upotrebljava za deblje predmete, naročito ako zahtevaju višeslojno zavarivanje. Najmanja debljina materijala koju je efikasno zavarivati ovim načinom iznosi 5 mm. Internacionalna kratica za ovaj postupak je MIG (Metal Inert Gas).

Postupci zavarivanja pritiskom jesu: hladno zavarivanje pritiskom, kovačko zavarivanje i elektrootporno zavarivanje.

Hladno zavarivanje pritiskom osniva se na načelu da legure i na nižim temperaturama uz upotrebu odgovarajućeg pritiska prelaze u tečno stanje. Upotrebljeni pritisak za zavarivanje treba da je nešto viši od granice istezanja materijala. Kako su za to zavarivanje podesne legure u mekom stanju, visina se pritiska kreće između 20 i 30 kp/mm².

Kovačko zavarivanje pritiskom vrši se u intervalu između 350 i 500°C. Na toj temperaturi čisti aluminijum i legura Al-Mn tako su mekani da se udarcima i pritiskom mogu homogeno zavariti. Ako bi radna temperatura prešla određenu granicu, spoj bi postao lomljiv i raspao bi se.

Pri *elektrootpornom zavarivanju* delovi se zagrevaju električnom strujom koja svladava otpor na dodirnoj plohi a zavarivanje se vrši pritiskom. Delovi koji se zavaruju približe se jedan drugome i lagano se pritisnu, a onda se propusti jaka struja. Na dodirnom mestu zbog svladavanja otpora razvija se toplota. Delovanjem odgovarajućeg pritiska delovi se zavare.

Kako su električna i toplotna sprovodljivost aluminijuma i njegovih legura veće nego čelika, a tačka im je topljenja niža, potrebno je pri elektrootpornom zavarivanju aluminijuma i aluminijumskih legura dovesti na određeno mesto veću količinu toplote u kraćem vremenu nego pri zavarivanju čelika. Stoga mašine za elektrootporno zavarivanje čelika ne mogu služiti za zavarivanje lakih metala.

Najčešće upotrebljeni načini elektrootpornog zavarivanja jesu sučeono, tačkasto i kolutno zavarivanje. Pri *sučeonom elektrootpornom zavarivanju* se spajanje vrši na celom preseku materijala. Ova se vrsta zavarivanja zbog toga upotrebljava za velike preseke, šipke, profile. Zavarivanje nastaje tako da se kroz oba dela koji se dodiruju dovede jaka struja. Čeljusti mašine koje čvrsto drže delove služe ujedno i kao vodiči struje. Kad se dodirne plohe počnu topiti, jakim pritiskom brzo se delovi spoje, a tok struje zavarivanja se prekine. Zbog pritiska dolazi do zbijanja materijala obaju krajeva i oni se zavare. *Tačkasto zavarivanje* nastaje u pojedinim tačkama preklopljenih površina. Elektrode imaju oblik štapića. *Kolutno zavarivanje* je praktički neprekinuti hod tačkastog zavarivanja, pri kome elektrode imaju oblik koluta. Materijal koji se zavaruje učvršćen je između dva koluta, kroz koje se dovodi struja, a nalazi se pod određenim pritiskom. Za vreme samog procesa zavarivanja koluti miruju. Nakon isključenja struje (u času dovršenog spajanja) koluti se okreću do sledećeg mesta spajanja. Ima uređaja u kojima se materijal pomiče između koluta. Šav može biti prekinut ako postoji razmak između dveju zavarenih tačaka, a može biti i neprekinut ako između tačaka nema razmaka, nego jedna sledi drugu bez prekida.

Lemljenje. Visina temperature lemljenja je znatno niža od temperature zavarivanja budući da se pri lemljenju ne topi osnovni materijal nego samo lem. Niža temperatura zagrevanja osnovnog materijala pri lemljenju znatno smanjuje unutarnja naprezanja, a manja je i opasnost od deformacije i progaranja materijala, što su neretke pojave pri zavarivanju.

Aluminijum i nisko legirane legure, kao Al-Mn i Al-Mg-Si, kojima tačka topljenja nije daleko od tačke topljenja čistog metala, mogu se tvrdo lemiti, ali aluminijumske legure sa sadržajem magnezijuma većim od 2% nisu podesne za lemljenje.

Prema radnoj temperaturi i upotrebljenoj leguri lema razlikuje se *meko* od *tvrdog* lemljenja.

Za *meko lemljenje* upotrebljavaju se legure niske tačke topljenja koje su potpuno ili uglavnom na bazi teških metala. Temperatura mekog lemljenja se kreće između 250 i 400°. Niže temperature se ne smeju upotrebljavati jer aluminijum na temperaturama nižim od 250° nije podesan za spajanje. Budući da je tačka topljenja lema znatno niža od temperature na kojoj reaguju topila, ne mogu se ova ni upotrebljavati pri mekom lemljenju. Oksidni film se zbog toga uklanja mehanički.

Mekani lem i aluminijum praktički ne difundiraju jedan u drugi, ne dolazi ni do kakve unutarnje veze, lemljene delove povezuje samo sila adhezije. Od takvog spoja ne može se očekivati velika mehanička čvrstoća. Osim toga postoji velika razlika elektrohemijskog potencijala između legure lema i osnovnog materijala, aluminijuma, tako da je spoj sklon koroziji. Meko lemljenje dolazi u obzir samo u slučajevima kada se ne postavljaju visoki zahtevi na mehaničku čvrstoću i ako je spoj zaštićen od pristupa vlage te se ne treba bojati korozije.

Važno je napomenuti da se meko zalemljeni spoj ne može podvrgnuti postupcima anodizacije i elektropoliranja jer bi se rastvorio.

Temperaturno područje za *tvrdog lemljenje* kreće se u granicama od ~ 540 do 600° , tj. za $30\cdots 120^\circ$ niže od tačke topljenja osnovnog

metala koji se spaja i koji se prema tome ne topi pri procesu lemljenja. Lako topljivi teški metali ne nalaze se obično u većem procentu u legurama tvrdog lema, koje su pretežno na bazi aluminijuma.

Najuobičajenija legura tvrdog lema je eutektička legura Al-Si 13. Opasnost od korozije je zbog toga skoro potpuno uklonjena. Oksidni sloj na površini aluminijuma i aluminijumskih legura razara se pomoću topila. Međusobno spajanje osniva se na difuziji lema u površinski sloj osnovnog metala, što daje visoku čvrstoću zalemljenom spoju.

Postupak tvrdog lemljenja daje spojeve koji imaju karakteristike zavarenog spoja u pogledu otpornosti prema koroziji i mehaničkim naprezanjima.

Lepljenje. U poslednjim godinama razvila se proizvodnja lepila visoke čvrstoće, tako da se sve više upotrebljava tehnika lepjenja aluminijumskih delova. Lepila nisu korozivna, među lepilom i metalom ne stvaraju se lokalni elementi. Lepilom se može aluminijum spojiti i sa drugim metalima ili čelikom. Lepilo izoluje električki i korozijski. Najviše se upotrebljavaju lepila *Araldit* (CIBA—Basel) i *Redux* (Vel. Britanija, USA). Lepilo se namaže na slabo zagreane delove (100°), a stvrdne i spaja kad se zagreje na 130...220°. *Reduxom* namazani spoj treba za vreme stvrdnjavanja pritiskivati pritiskom 4...7 kp/cm². Lepljeni spojevi imaju veću čvrstoću na pritisak, ali manju na zatezanje nego lemljeni. Naročito je velika čvrstoća na smicanje, te stoga treba da sile u lepljenim spojevima deluju po mogućnosti uvek u ravni lepjenja. Čvrstoća lepljenih spojeva u slučaju dinamičkih naprezanja znatno je veća nego zakivanih i tačkasto zavarenih, s spoj se može primeniti i na toplotno obradljive legure. Avionska industrija sve više iskorišćuje spajanje lepljenjem radi uštede na težini aviona.

ALUMINIJUMSKI PRAH I BOJA

Aluminijum se upotrebljava i u obliku praha, sačme i boje.

Aluminijumski prah izrađuje se u specijalnim tvornicama iz otpadaka folija ili lima čistog aluminijuma. Mašinama se razbijaju komadići lima u vrlo male ljuške, tanje od 0,0001 mm. Ova sitna prašina se »polira« u specijalnim mašinama sa dodatkom masnoće, npr. stearinske kiseline, tako da ljuške zadrže svetli sjaj i da se poviši površinski napon. Polirana prašina je osnova poznate aluminijumske boje. Pored toga upotrebljava se aluminijumska prašina i za impregnaciju tkanina, za izradu poroznog betona i penaste gume, za alitiranje čeličnih delova, u pirotehnici i za druge svrhe. Medicina upotrebljava aluminijumsku prašinu za lečenje opekotina.

Izrada i prerada aluminijumske prašine je opasna jer je njena smeša s vazduhom eksplozivna. Treba se tačno pridržavati specijalnih sigurnosnih propisa.

Aluminijumska sačma se izrađuje od tekućeg aluminijuma livenjem kroz sita u vodu. Stvaraju se plosnate sačmice promera oko 10 mm, koje se upotrebljavaju za dezoksidaciju čelika.

Mešanjem aluminijuma na temperaturi malo ispod tačke topljenja stvaraju se neravnomerna napukla sitna zrna (»kaša«), koja se upotrebljavaju za termitno varenje.

»Atomizirani« aluminijum izrađuje se duvanjem pare ili vazduha u tekući metal, ili rasprskavanjem tankog mlaza aluminijuma u inertnom plinu. Stvorene vrlo sitne sačmice upotrebljava hemijska industrija i pirotehnika.

Aluminijumska boja je smeša aluminijumske prašine i nekog veziva, zavisno od predmeta koji se bojadiše. Ljuskice prašine isplivaju na površinu veziva i stvore gust, ravnomeran sloj, kao crepovi na krovu ili ljuške ribe. Pri tom ima veliku ulogu fini sloj masnoće koja pokriva svaki komadić prašine. Posle stvrdnjavanja veziva predmet je pokriven slojem svetlih metalnih ljuškica koje ne propuštaju ni vlagu ni gasove, reflektiraju zrake svetla i toplote i postojane su na višim temperaturama. Mešanje prašine i veziva treba izvršiti kratko pre bojadisanja.

PRERADA OTPADAKA LAKIH LEGURA

Otpaci lakih legura se stvaraju u svim preduzećima koja izrađuju ili prerađuju lake metale. U tom slučaju je sastav otpadaka poznat, tako da se po sastavu sortirani otpaci mogu vratiti u krug prerade. Drukčije je s materijalom koji dolazi u preradu od preduzeća za skupljanje otpadaka. Često sastav tih otpadaka

nije poznat. Ako se ne može na oko utvrditi sastav, primenjuju se brze analitičke metode, npr. tzv. kapljicaste reakcije koje se izvode direktno na površini metala. Sa tri reagenta može se brzo kvalitativno utvrditi da li su otpaci od Al ili Mg ili legura Al-Cu, Al-Zn, Al-Si. Time je omogućena ponovna upotreba otpadaka.

Aluminijumske legure ne mogu se čistiti od primesa oksidacijom, kako se to čini s teškim metalima, jer bi se aluminijum sam pre ostalih komponenata oksidovao i prelazio u zguru. Upotrebljavaju se drugi postupci, npr. topljenje sa fluksima (topilima) ili čišćenje tečnog metala uduvavanjem gasova. U leguri ostaju plemenitiji metali i aluminijum, a uključci oksida, karbida, nitrida itd. izlaze na površinu. Za vreme topljenja treba tečni metal mešati i sniziti mu temperaturu.

Mešanje tečnog metala može se postići na mehanički način specijalnim alatom, uvođenjem inertnog gasa, indukcijom odn. visokofrekventnom strujom i zvukom odn. ultrazvukom. Gasovi ili nemetalni uključci izlaze na površinu rastopljenog metala.

Sadržaj vodonika može se mnogo sniziti ako se pusti da tečna legura stoji dulje vreme u miru na temperaturi blizu tačke topljenja. Istovremenim uvođenjem suvog azota ili hlora ubrzava se uklanjanje gasova.

Topila za čišćenje lakih legura su smeše različitih sastava, obično hlorida ili fluorida natrijuma, kalijuma, barijuma, kalcijuma, magnezijuma, aluminijuma, mangana ili cinka. Hloridi se raspadaju u rastopljenom metalu i oslobađaju hlor, koji reaguje sa vodonikom i drugim rastvorenim gasovima te i na taj način vrši degazaciju metala. Fluoridi rastvaraju aluminijum-oksidi i stvaraju zguru koja izlazi na površinu rastopljenog metala.

Sortiranje otpadaka vrši se obično u četiri grupe: a) grubi otpaci od livenja ili gnječenja, bez železa ili teških metala, b) otpaci mešanih konstrukcija, koji sadržavaju železo ili druge teške metale, c) strugotine, folije i tube, d) »pepeli«, »zgure« i slični otpaci. *Grubi otpaci* sortiraju se najpre ručno. Metodom kapljicastih reakcija odredi se tip legure. Tako sortirani otpaci dolaze u peći gde se istope te se liju u kalupe (blokiraju). Blokirani materijal se analizira. *Strugotina* i drugi sitni otpaci ne mogu se sortirati ručno. Duge savijene strugotine propuste se kroz drobilicu. Izdrobljene strugotine i drugi sitni materijal dolaze u centrifugu, da se odstrani ulje i druge tekućine. Iz centrifuge prelaze u bubanj za sušenje, a osušeni otpaci se separiraju magnetom od uključaka železa ili čelika. Očišćeni otpaci istope se sa dodatkom fluksa u bubnjastim pećima ili u pećima s predognjštanjem, blokiraju se i analiziraju. Prerada »pepela« ili »zgura« je teža, jer takvi otpaci sadržavaju mnogo oksida. Nepoznate otpatke treba brzo analizirati i klasificirati. Ručnim sortiranjem dele se komadi sa železom od komada bez njega. Sledi drobljenje čeljusnim drobilicama i sejanje. Krupniji deo dolazi još u mlin sa čeličnim kuglama, a posle magnetnog separiranja unese se s fluksom u peć. Sitniji deo preradi se slično, ali odvojeno.

Peći za topljenje otpadaka lakih legura mogu se zagrevati čvrstim, tečnim i gasovitim gorivom ili električnom energijom. Peći koje se zagrevavaju gorivima mogu biti raznih tipova i konstrukcija, kao što su: jamaste peći, razni tipovi plamenih peći sa i bez predognjišta, zatim rotacione bubnjaste peći. Od električnih peći mnogo se upotrebljavaju u većim pogonima visokofrekventne (500...1000 Hz) i niskofrekventne (50 Hz) indukcione peći raznih konstrukcija. Vrlo su ekonomične elektro-otporničke peći u kojima se struja dovodi preko ugljenih elektroda u rastopljeni sloj soli koji služi kao topilo i elektro-otpornik.

KOROZIJA ALUMINIJUMA I LAKIH LEGURA

Aluminijum je vrlo reaktivan element, koji se lako oksiduje. Uprkos tome su čisti aluminijum i neke njegove legure dobro postojani prema koroziji, i to zbog oksidne korice koja ga pokriva i štiti pred daljim uticajem korozionog sredstva. Što je aluminijum čistiji to bolje je postojan. Najmanje korodibilan je elektrolitski rafinirani aluminijum, koji sadržava više od 99,99% Al. Za aluminijum su najopasniji plemenitiji metali, kao bakar, nikal i njihove legure, koji mogu s njim stvarati lokalne elemente. Sitni komadići tuđih metala na alatu kojim se obrađuju lake legure mogu biti uzrok velikih šteta korozijom.

Ravnomerna korozija aluminijuma nastaje kad je korozijsko sredstvo sposobno da rastvara oksidnu prevlaku na metalu ili

da prolazi kroz nju. Najjače rastvaraju aluminijum jake lužine, kao vodeni rastvori KOH ili NaOH. Dodatkom vodenog stakla i drugih koloida može se rastvorljivost u lužinama smanjiti, a rastvaranje rastvorima alkalnih karbonata potpuno sprečiti. Snažno rastvaraju aluminijum kiseline halogena, HCl, HF i druge. Razređeni i hladni rastvori sumporne kiseline rastvaraju metal sporo. Vrlo brzo ga rastvara sumporna kiselina koncentracije 50...90%. Azotna kiselina rastvara aluminijum vrlo sporo. Najjače ga rastvara kad joj je koncentracija 15...30%. Što je aluminijum čistiji i što je koncentrovanija kiselina, to je uticaj manji; zbog toga se od aluminijuma izrađuju sudovi za transport koncentrovane azotne kiseline.

Lokalna korozija nastaje neravnomerno na raznim mestima i brzo uništava metal. Uzrok su galvanске struje koje nastaju među heterogenim fazama legura ili uključaka, kao i nejednolično prodiranje kiseonika do metalne površine.

Interkristalna korozija je također elektrohemijškog karaktera. Korozivno sredstvo prodire po granicama kristalita duboko u metal i slabi njegovu čvrstoću, iako se rastvara samo malo metala. Nepravilna toplotna obrada nekih legura, naročito AlCuMg ili AlMg sa više od 5% Mg, može biti uzrok interkristalne korozije. Čisti aluminijum, legure AlMn, AlMgMn, AlMg 3 do 5, nisu osetljivi za ovu koroziju.

Uticaj primesa na koroziju zavisi i od primesa i od korozivnog sredstva. Sadržaj železa u tehničkom aluminijumu škodi više nego ista količina silicijuma. Rastvaranje u sonoj kiselini ubrzava se većim sadržajem železa. Već mali sadržaj bakra škodi otpornosti prema morskoj vodi. Mali dodaci magnezijuma ili cinka povisuju otpornost prema nekim korozivnim sredstvima. Uticaj korozije zavisi i o tome da li je legurni metal prisutan u čvrstom rastvoru ili kao heterogena faza. Sadržaj oksida, sulfida, nitrda i karbida povisuje se ponovljenim topljenjem i time se smanjuje otpornost prema koroziji.

Izbor legura zavisi od korozivnog sredstva. Otporni prema atmosferskoj koroziji, čistoj i morskoj vodi i neutralnim otopinama NaCl su aluminijum, legura AlMn (sa oko 1% Mn), legure AlMg sa 1 do 5% Mg, do 0,7% Si i 0,25% Cr i druge. Sadržaj bakra do 0,05% nije štetan, ali veće koncentracije znatno povećavaju korodibilnost. Korodibilne legure mogu se zaštititi platiranjem čistim aluminijumom.

U slučaju da površina legure nije dovoljno otporna prema koroziji, može se upotrebljavati zaštitno platiranje, hemijsko ili anodno pojačavanje oksidne prevlake, lakiranje, bojadisanje i slični postupci.

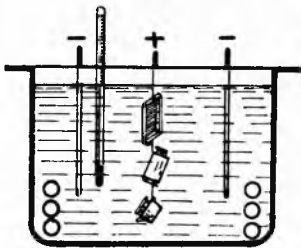
Hemijska i anodna oksidacija. Sloj oksida koji pokriva i štiti proizvode od aluminijuma može se pojačati hemijskim postupcima ili anodnom oksidacijom. Time se stvara oksid od samog aluminijuma, zbog čega sloj dobro prijanja uz metalnu podlogu.

Hemijska oksidacija izvodi se po raznim patentovanim postupcima. Pored toga što oksidna prevlaka štiti metal od korozije, stvara se i dobra podloga za premazivanje bojama i lakovima. Ti postupci ne traže skupih investicija, izvedba je jeftina i jednostavna. Na kontinentu se mnogo upotrebljava nemački MBV-postupak (Modifiziertes Bauer-Vogel-Verfahren). Tim postupkom se stvaraju porozne prevlake debljine 0,001...0,002 mm, svetlosive do tamnosive boje. Manji predmeti urone se u vrlo vruću kupku rastvora reagensa u kojoj se ostave 10...30 minuta, posle toga se operu i osuše. Kao reagens upotrebljava se vodni rastvor 5% kalcinirane sode i 1,5% natrijum-hromata ili rastvor 10 delova Na-hromata, 4 dela kalcinirane i 4 dela kaustične sode u 10...15 delova vode, ili druge, slične smeše. Temperatura kupke je 90...100°C. Dužim delovanjem kupke, za 1 sat i dulje, dobivaju se deblji, porozni slojevi, podesni za naknadnu impregnaciju ili bojadisanje. Impregniranje se vrši uronjavanjem u vrući 2%tni rastvor (100°) vodenog stakla za 10...15 minuta. Zaštitno delovanje sloja se time znatno pojačava. Postupak MBV deluje dobro protiv korozije na čistom aluminijumu, na legurama koje sadržavaju silicijum i do 2% magnezijuma. Na legurama koje sadrže teških metala, naročito bakra, zaštitno delovanje je slabo.

Legure sa bakrom mogu se zaštititi postupkom EW (Erftwerk). Tim postupkom dobiva se svetao, transparentan sloj koji je vrlo gust, ali manje pogodan kao podloga za lakiranje. U postupku EW upotrebljavaju se slične kupke kao u postupku MBV sa dodatkom vodenog stakla (1...2 g/l).

Američki *Alodine-postupak* upotrebljava kisele kupke koje sadržavaju pored hromove kiseline takođe fosfornu i fluorovodoničnu kiselinu. Jednak je britanski postupak *Alcrome*. Ima i drugih sličnih postupaka.

Anodna oksidacija. Zaštitna prevlaka na aluminijumu i njegovim legurama može se odebljati elektrohemijškim postupkom nazvanim »anodna oksidacija«. Postupak se izvodi tako da se aluminijumski predmet uroni u pogodan elektrolit i priključi na pozitivni pol izvora istosmerne struje prema sl. 24. Za vreme anodne oksidacije površinski sloj aluminija prelazi u aluminijum-oksida sastava Al_2O_3 , koji obično sadrži male količine vode i drugih primesa dospelih u nj iz elektrolita i samog metala. Brzina rasta oksidne prevlake i njegova konačna debljina ovisni su o vrsti i temperaturi elektrolita i količini protekle električne struje. Menjanjem ovih faktora mogu se proizvesti slojevi različitih osobina.



Sl. 24. Shema ćelije za anodnu oksidaciju

Ako se upotrebi elektrolit na bazi borne ili vinske kiseline, dobiju se veoma tanke oksidne prevlake, debljine ispod 1 μm . Takvi spojevi su gotovo neporozni, dobrih dielektričnih osobina, a imaju i ispravljačko delovanje. Primenjuju se za izradu elektrolitskih kondenzatora i ispravljača.

U elektrolitima na bazi sumporne, kromne i oksalne kiseline dobivaju se deblje oksidne prevlake karakteristične poroznosti. Obično se proizvode u debljini od 5 do 20 mikrona, a mogu biti i deblje. Odluke ovih oksidnih prevlaka su velika tvrdoća i otpornost prema habanju, mogućnost bojadisanja u vodenim rastvorima boja, dobra antikoroziivna zaštita i druge. Zbog ovih svojstava primenjuje se takav tip anodne oksidacije aluminijuma u širokim industrijskim razmerima za zaštitne, dekorativne i tehničke svrhe.

Anodna oksidacija provodi se nakon prethodnog čišćenja metala u 10%tnoj natrijumskoj lužini i 30%tnom rastvoru azotne kiseline, ili nekom sličnom metodom.

U praksi se najčešće primenjuje postupak anodne oksidacije u sumpornoj kiselini. Elektrolit je 10...25%tna H_2SO_4 , temperatura 18...22°, anoda je aluminijumski predmet koji se obrađuje, a katoda je od olova. Gustoća struje na anodi je 0,5...2,5 A/dm^2 , napon 7...20 V, trajanje obrade 15...45 min.

Anodno oksidirani aluminijumski predmeti mogu se bojadisati u vodenim rastvorima organskih boja, koje dolaze na tržište s raznim trgovačkim nazivima, a mogu se bojadisati i anorganskim bojama koje se unose u pore oksidnog sloja taloženjem nerastvorljivih obojenih soli u samim porama naizmeničnim uronjavanjem u dva rastvora soli.

Po završetku anodne oksidacije, odnosno bojadisanja, anodizovani se predmeti kuhaju u destilovanoj vodi 30 min, da bi se anodnom sloju začepile pore. Tim procesom prevodi se Al_2O_3 u $Al_2O_3 \cdot H_2O$ (bemitne strukture) koji ima veći volumen od Al_2O_3 .

Anodna oksidacija u oksalnoj kiselini provodi se u elektrolitu koncentracije 3...5% $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$. Temperatura elektrolita je 15...35°, gustoća struje 1...3 A/dm^2 , napon izmenični ili istosmerni, 40...60 V, trajanje obrade 15...60 min.

Za anodnu oksidaciju u kromnoj kiselini upotrebljavaju se elektroliti sastava 2,5...10% CrO_3 , temperature 40...90°. Gustoća struje je $\sim 1 A/dm^2$, napon 40...50 V, trajanje obrade 30...60 min.

Osim ovih postupaka ima i drugih kojima se dobivaju prevlake sa specijalnim svojstvima, npr. naročito tvrde ili izrazito porozne itd.

Aluminijum se može posajati elektrohemijškim i hemijskim metodama u alkalnim ili kiselim rastvorima određenog sastava.

UPOTREBA ALUMINIJUMA I NJEGOVIH LEGURA

Počeci primene aluminijuma datiraju još od poslednjih decenija prošlog veka. No tek legiranje aluminijuma sa drugim metalima (u prvom redu Cu, Mg, Mn, Si, Zn) omogućilo je da upotreba aluminijumskih legura postane svestrana, štaviše, za celi niz namena nezamenljiva.

Glavna svojstva aluminijuma i njegovih legura koja ih čine naročito pogodnim za primenu jesu: povoljan odnos težine i čvrstoće, dobra antikoroziivna svojstva, mogućnost lakog oblikovanja, dobra toplotna provodljivost, dobra električna provodljivost, tromost na iskenje, dobra moć refleksije, magnetski neutralitet, raznovrsna mogućnost obrade površine.

Relativna gustina aluminijuma i njegovih legura kreće se u granicama od 2,6 do 2,8, dakle iznosi svega jednu trećinu gustine čelika; to je važan faktor u smanjenju mrtve težine svih pokretnih konstrukcija, odnosno u povoljnijoj raspodeli težine same konstrukcije. Upotrebom aluminijumskih legura smanjuje se masa u mašinskim delovima podvrgnutim nejednomernom ubrzanju, naizmeničnom smeru kretanja, velikim brzinama rotacije i sl., a tim se štedi energija, smanjuju naprezanja, štede ležajevi itd. I u nepokretnim konstrukcijama mala specifična težina aluminijumskih legura igra važnu ulogu. U građevinarstvu npr. omogućuje izvedbu lakših temelja, smanjuje transportne troškove (naročito važno na teško pristupačnim i udaljenim terenima), troškove montaže i sl.

Dobra antikoroziivna svojstva aluminijuma, odnosno izvesnog broja njegovih legura, čine ove idealnim konstruktivnim materijalom za izradu raznih aparatura i uređaja prehrambene i hemijske industrije. Tome se još pridružuje i dobra toplotna provodljivost, koja je po svojoj vrednosti odmah posle provodljivosti bakra (0,3...0,5 cal/cm sek °C prema 0,92 za bakar). Ta karakteristika dolazi od izražaja naročito u gradnji motora sa unutarnjim sagorevanjem.

Svojstvo magnetskog neutraliteta (aluminijum i njegove legure su slabo paramagnetični) čine aluminijum pogodnim za izradu mernih instrumenata, kompasnih kućišta, kormilarnica i sl.

O ostalim napred navedenim osobinama treba još reći da tromost aluminijuma na iskenje omogućuje njegovu primenu u rudarstvu ili u postrojenjima gde preči opasnost pojave eksplozivnih gasova (uz uslov da ne dolazi do sudara sa zardalim železom).

Osobina dobre električne provodljivosti po kojoj aluminijum zauzima drugo mesto među praktički upotrebljivim metalima čini, uz ostale osobine, da su aluminijum i njegove legure danas nezamenljiv materijal za ceo niz primena u elektrotehnici.

Velika plastičnost omogućuje laku preradu u polufabrikate kao folije, limove, pločevinu i profile. Profili (puni i šuplji) često su vrlo komplikovanih preseka, što omogućuje njihovo maksimalno iskorišćenje u konstrukcijama. Svojstvo plastičnosti omogućuje i da se na relativno jednostavan i ekonomičan način vrši obrada bez skidanja strugotine, kao npr. presovanje, provlačenje, duboko izvlačenje, kovanje i sl.

U daljem navedeće se ukratko glavna područja primene aluminijuma i aluminijumskih legura.

Građevinarstvo. Od aluminijuma i lakih legura prave se: kompletne noseće konstrukcije kao npr. mostovi, tornjevi, tankovi, zgrade stalne i montažne; elementi za fasade zgrada, krovovi, prozori i vrata; razni arhitektonski ukrasni elementi; elementi unutarnje arhitekture, nameštaj; obloge od aluminijumske folije za zvučnu i toplinsku izolaciju. Elementi koji su izvrnuti opasnosti korozije (npr. u industrijskoj atmosferi) i gde se polaže na estetski izgled često se anodno oksiduju.

Transportna sredstva. Upotreba aluminijumskih legura na ovom području omogućava znatnu uštedu na mrtvoj težini, što se očituje povećanjem korisnog tereta, odnosno drugih performansa (brzine, akcionog radijusa itd.). Aluminijumske legure upotrebljavaju se za gradnju železničkih putničkih i teretnih vagona, vagona cisterna, gradskih vozila na tračnicama. U novije vreme vrše se pokusi i sa vagonskim postoljem od lakih legura. Široka je njihova primena u unutarnjim uređajima putničkih vagona. U gradnji cestovnih vozila prave se od lakih metala: karoserije trolejbusa, autobusa, teretnih automobila i putničkih automobila. Za sportske i trkače automobile često se osim karoserije izvodi i šasija od aluminijumskih legura.

U konstrukciji aviona aluminijumske legure predstavljaju osnovni konstrukcioni materijal. Takođe za dirigovane i balističke projekte, za rakete i umetne satelite.

Brodogradnja se koristi aluminijumskim legurama (uglavnom tipa Al-Mg) za brodska nadgrađa (čime se postiže povećanje stabiliteta ili povećanje nadgrađa), za unutarnju arhitekturu broda uključujući nameštaj, razne pomoćne uređaje i delove (jarbole,

dimnjake, vetrološke, poklopce na grotlima itd.). Manji objekti grade se potpuno od aluminijumskih legura, naročito čamci za spasavanje, jahte na jedra i motor. U novije vreme izrađeno je nekoliko tankera za tekuće gorivo i ugljen potpuno od lakih legura. Primena lakih legura naročito je interesantna u ratnoj brodogradnji za brze jedinice i za opremu ostalih ratnih jedinica. Zbog nemagnetičnosti povoljna je primena na komandnim mostovima i u kormilarnicama.

Elektrotehnika upotrebljava aluminijum i njegove legure kao aktivni materijal koji sprovodi struju i kao pasivni za konstrukciju. Najviše služi za užeta za dalekovode (Aldrey), i to ili kao uža u celosti od aluminijumskih žica ili kao uža od alučela; nadalje, za sabirnice, žicu za namotaje izoliranu anodnom oksidacijom, sprovodne kablove, antene, reflektore i drugo za radarsku i UKV-tehniku, folije za gradnju kondenzatora i drugo; za izradu mernih instrumenata i konstruktivnih elemenata postrojenja. Takođe se grade od lakih legura i stupovi za dalekovode.

Hemijska i prehrambena industrija upotrebljava destilacione kolone, pregrijače, izmenjivače toplote, hladila, kotlove, autoklave, kondenzatore, tankove, posude, ambalažu od lakih metala.

Metalurgija železa i čelika upotrebljava aluminijum kao sredstvo za dezoksidaciju, za poboljšanje otpornosti protiv korozije na visokim temperaturama (difundiranje Al u čeliku), za magnetske legure (Alnico).

Aluminijumske bronzе visokih mehaničkih karakteristika služe za propelere, ležajeve, osovine.

O upotrebi aluminijumskog praha bilo je govora napred. Treba još dodati da aluminijumski prah podvrgnut procesu sinterovanja po postupcima metalkeramike (tzv. SAP) služi za izradu delova otpornih na znatno višim temperaturama nego aluminijum i njegove legure.

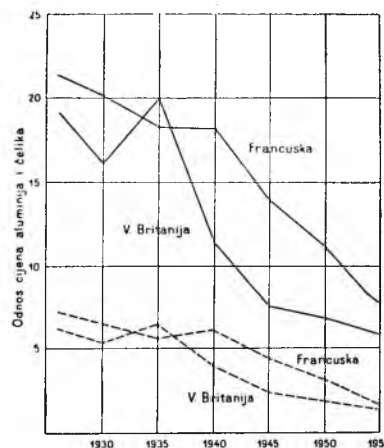
Aluminijum i njegove legure primenjuju se danas na dalji niz područja, kao što su npr. tekstilna industrija, rudarstvo, poljoprivreda, ribarstvo, vojna oprema i dr.

ALUMINIJUMSKE KONSTRUKCIJE

Primena aluminijumskih legura u tehnici opravdana je ili čisto tehničkim faktorima (kad je diktirana specifičnim fizičko-hemijskim karakteristikama aluminijuma) ili tehničko-ekonomskim. Za primenu u konstrukcijama jedan od osnovnih faktora je mogućnost smanjenja težine konstrukcije; u nekim slučajevima taj faktor toliko je važan da nijedan drugi materijal ne može da konkuriira lakim metalima (npr. za gradnju letelica), u općenitom slučaju, međutim, prilikom izbora materijala malu specifičnu težinu aluminijumskih legura treba oceniti u vezi s njihovom cenom, njihovom mehaničkom i hemijskom otpornošću, a u poređenju s drugim konstrukcionim materijalom, prvenstveno sa čelikom.

Ekonomsko upoređenje lakih legura sa čelikom.

Cena primarnog aluminijuma je po jedinici težine 5...6 puta veća od cene konstrukcionih čelika. Za poluproizvode taj je odnos nešto manji zbog lakše prerade aluminijuma: iznosi 4...5 : 1. (Tako je cena 1959 bila, u U. S.-\$/t, za blokove: čelik 65, aluminijum 420; za limove: čelik 130, aluminijum 655.) Kretanje odnosa cena aluminijuma i čelika u poslednjih tridesetak godina pokazuje tendenciju opadanja u vezi sa porastom proizvodnje aluminijuma

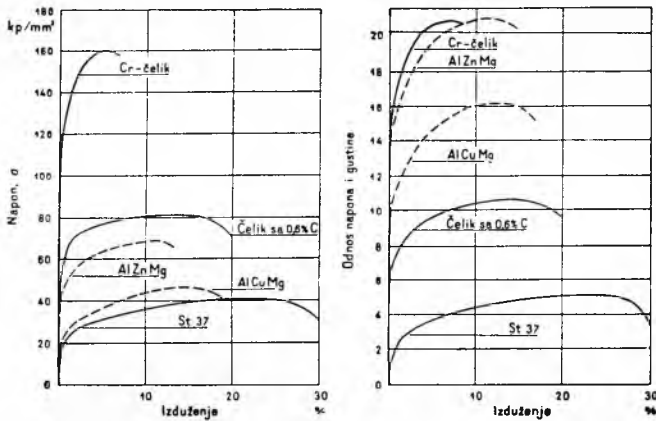


Sl. 25. Odnos cena aluminijuma i čelika u Francuskoj i Velikoj Britaniji — po težini, --- po volumenu

(sl. 25). Taj će porast prema statističkim predviđanjima u narednih 25 godina za aluminijum i dalje biti znatno veći nego za sve druge industrijske sirovine, što će svakako imati za posledicu

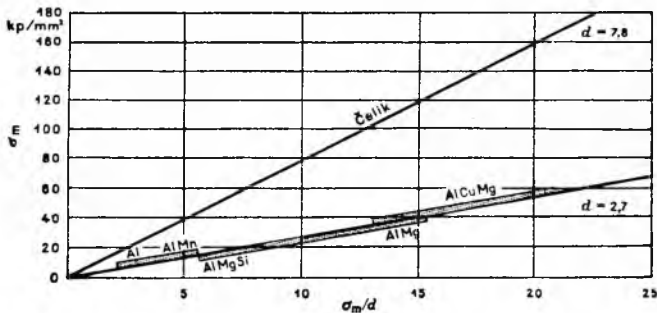
dalje sniženje cene aluminijuma, a time i povećanje ekonomičnosti aluminijumskih konstrukcija.

I što se tiče čvrstoće na prvi pogled čini se da je aluminijum prema čeliku u vrlo podređenom položaju: raskidna čvrstoća aluminijumskih materijala, kako se razabira iz sl. 26 a, ograničena je na $\sim 65 \text{ kp/mm}^2$ prema $\sim 160 \text{ kp/mm}^2$ za konstrukcione čelike.



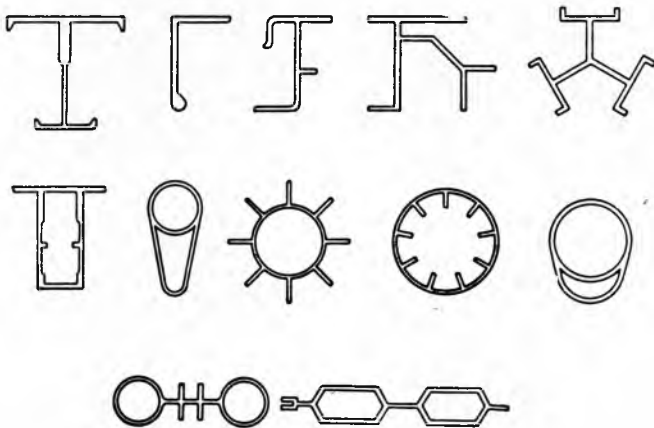
Sl. 26. Čvrstoća i odnos čvrstoća/gustina za aluminijum i čelik

Međutim, kako se (dimenzioniranjem) količina materijala koja ulazi u konstrukciju ne određuje po težini nego po volumenu, a cena mu je izražena na jedinicu težine, pri upoređenju mehaničkih svojstava treba u kalkulaciji cene koštanja konstrukcije voditi



Sl. 27. Zavisnost između σ_m i σ_m/d

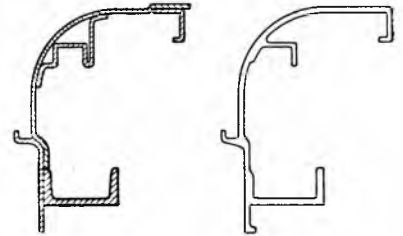
rečuna i o odnosu gustina, tj. upoređivati ne čvrstoće nego odnose čvrstoće i gustine, σ_m/d . U dijagramu sl. 27 prikazana je zavisnost između raskidne čvrstoće i odnosa σ_m/d za čelik i aluminijumske



Sl. 28. Presovani profili

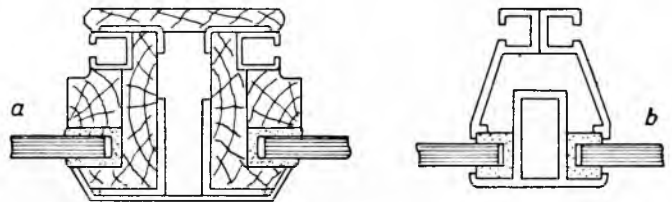
legure. Ako se pomoću tog dijagrama ordinate dijagrama sl. 26 a preračunaju na σ_m/d (sl. 26 b), vidi se da su aluminijumske legure u prednosti u poredenju sa većinom čelika.

Razumnim korištenjem drugih svojstava aluminijumskih legura ukupna se težina konstrukcije može i dalje smanjivati. Pri tom često treba odstupati od klasičnih rešenja. Dobar je primer za to gradnja aviona i vozila, u kojoj se često upotrebljavaju tzv. noseće ljuske, tj. oplate koje preuzimaju glavni, ili bar velik deo naprezanja, i u kojoj se primenom sandvič-ploča i sličnim rešenjima postizavaju vanredno lagane i čvrste konstrukcije. Zahvaljujući lakoći kojom se od aluminijumskih legura mogu dobiti profili presovanjem, konstrukteru stoje na raspoloženju mnogi oblici otvorenih i zatvorenih profila, često dosta komplikovani, u kojima raspodela masa omogućava da se postigne najpovoljniji moment tromosti, odn. otpora. Na sl. 28 prikazano je nekoliko karakterističnih presovanih profila, a na sl. 29 vidi se kako se pomoću takvih profila može izbeći skupo i komplikovano zavarivanje. Na sl. 30 prikazan je, primera radi, levo vagonski stupić u izvedbi drvo-čelik, koji se sastoji od dva naest delova i ima težinu 11 kg/m, a desno isti stupić izveden od aluminijuma sa svega tri dela i težinom 3,6 kg/m.



Sl. 29. Upoređenje zavarovanog i presovanog profila

Ipak, s obzirom na odnose jediničnih cena, pri izradi nosećih konstrukcija u građevinarstvu aluminijumske legure ne mogu još općenito konkurirati čeliku, pogotovo jer će i sistemni koeficijent za konstrukcije od lakog metala normalno biti veći nego za čelične konstrukcije. Nosači malih raspona od lakog metala bili bi već pri odnosu jediničnih cena 2,1 jednako skupi kao nosači od čelika. Kako je taj odnos stvarno daleko nepovoljniji, bit će pod normalnim okolnostima noseće konstrukcije malih i srednjih raspona od aluminijumskih legura svakako skuplje od čeličnih nosača (1,5...2 puta), cene će se izjednačiti tek za noseće konstrukcije velikih raspona. Razume se, odnos ukupnih troškova konstrukcije može se promeniti u korist lakih metala ako treba računati s teškim transportnim prilikama, sa specijalnim uslovima montaže, odn. sa troškovima instalacija za montažu s obzirom na težinu konstrukcije, zatim, sa smanjenjem troškova za fundiranje, sa smanjenjem pogonskih troškova u slučaju pokretnih konstrukcija



Sl. 30. Vagonski stupić. a izrada drvo-čelik, b izrada od aluminijuma

(mostova, dizalica itd.). Specijalno, primenom Al-legura može se postići ekonomska korist pri rekonstrukciji većih mostova potrebnoj zbog povećanja saobraćajnog opterećenja. Zamenom čelične kolničke konstrukcije lakom metalnom konstrukcijom može se stalni teret toliko smanjiti da glavni nosači mogu bez pojačavanja preuzeti povećano saobraćajno opterećenje.

Kako vlastita težina noseće konstrukcije od lakog metala raste s rasponom mnogo polaganije nego vlastita težina slične konstrukcije od čelika, mogu se upotrebom lakog metala izvesti konstrukcije s rasponima za koje čelik više ne dolazi u obzir. Npr., granični, ekonomski prihvatljivi raspon proste grede od lakog metala bio bi otprilike dvaput veći od raspona čelične grede (500 m prema 250 m).

Uticađ drugih razlika u mehaničkim svojstvima čelika i aluminijuma na ekonomiku konstrukcija razabiraće se iz upoređenja tih svojstava sa stanovišta konstruktera.

Upoređenje mehaničkih svojstava čelika i aluminijuma. Modul elastičnosti E ima za sve konstrukcije aluminijumske

legure vrednost $\sim 7000 \text{ kp/mm}^2$, dakle približno $\frac{1}{4}$ vrednosti modula elastičnosti za konstrukcioni čelik. Tako nizak modul elastičnosti utiče bitno na veličinu elastičnih deformacija pri različitim, bilo osnovnim bilo složenim naprezanjima konstrukcija od lakih metala. On je isto tako značajan za probleme elastične stabilnosti i za probleme vibracija. Zbog toga se ne mogu na noseće konstrukcije od Al-legura bez daljeg primeniti oblici ustaljeni za čelične konstrukcije, nego treba nastojati da se celishodnim oblikovanjem ublaži uticaj manjeg modula elastičnosti. To je olakšano činjenicom da se različitim postupcima mogu bez teškoća formirati bilo kakvi preseki konstruktivnih delova. Ima međutim slučajeva gde mala vrednost modula E deluje čak povoljno, npr. ako je važnija sposobnost preuzimanja naprezanja elastičnim deformacijama nego čvrstoćom. Otuda potiče veća sigurnost karoserije od Al-legura u slučaju sudara (veća sposobnost poništavanja energije udara).

Granica popuštanja. Kako se vidi iz dijagrama na sl. 31, aluminijumske legure nemaju jasno izraženu granicu popuštanja, kao npr. čelik. Dogovorno se za granicu popuštanja uzima vrednost koja se dobiva ako se u dijagramu napona i izduženja iz tačke na apscisnoj osi koja odgovara izduženju 0,2% povuče paralela s linearnim delom dijagrama do secišta sa krivuljom. Ta se vrednost označuje sa $\sigma_{0,2}$. Razlika između raskidne čvrstoće σ_m i granice popuštanja $\sigma_{0,2}$ zavisi od vrste legura i njezinog stanja. Za legure koje su poboljšane hladnom preradom ta razlika postaje manja, uz istovremeno opadanje izduženja. U Velikoj Britaniji upotrebljava se konvencionalno kao granica popuštanja napon pri trajnom izduženju 0,1%. Razlike između tako definirane granice popuštanja i $\sigma_{0,2}$ praktično nisu značajne, jer granica popuštanja za isti, jednako obrađen materijal normalno varira za $\sim 5\ldots 10\%$.

Koeficijent sigurnosti. Utvrđivanje koeficijenta sigurnosti za konstrukcije od lakih metala otežano je s jedne strane time što tu još ne postoji dugogodišnje iskustvo kao u slučaju čeličnih konstrukcija, sa druge strane time što laki metali nemaju izrazitu granicu popuštanja, s kojom se veže koeficijent sigurnosti konstrukcija od građevinskog čelika.

Razumljivo, konvencionalno utvrđena granica popuštanja lakih legura ne može imati za konstrukcije od tog materijala isti značaj što ga ima stvarna granica popuštanja različitih čelika za čelične konstrukcije. Zbog toga su još uvek podeljena mišljenja treba li za Al-legure koeficijent sigurnosti određivati s obzirom na granicu popuštanja ili s obzirom na prelomnu čvrstoću. Za vazduhoplovne konstrukcije i visokogradnje kao baza uzima se granica popuštanja, dok se npr. u gradnji strojeva uzima kao baza raskidna čvrstoća.

Izborom koeficijenta sigurnosti treba da se, u prvom redu, postigne potrebna sigurnost protiv sloma, ali uz to i dovoljna sigurnost protiv nastupanja trajnih deformacija. Pri tome je važno da se razlikuju slučajevi statičkog i dinamičkog (tj. često ponavljano) opterećenja konstrukcije. Smanjena čvrstoća u ovom drugom slučaju, tzv. čvrstoća na zamor, ovde je značajnija nego za čelične konstrukcije, i to ne samo zato što su Al-legure, kad su dinamički napregnute, mnogo osetljivije na zarez, nego i zato što se, zbog bitno manje vlastite težine konstrukcije, naponi u njezinim delovima mogu kretati u širim granicama. Treba istaći da i u samoj definiciji čvrstoće na zamor postoji razlika između konstrukcija od čelika i konstrukcija od lakih metala. Dok je za određivanje čvrstoće na zamor čelika (radne čvrstoće) dovoljan broj od 10^6 oscilacija opterećenja, za neke lake legure ona se ne dobiva još ni sa $5000 \cdot 10^6$ tih oscilacija. Zbog toga se čvrstoća na zamor lakih metala u konstrukterskoj praksi neće moći definirati kao granična vrednost napona pri ponavljanom

opterećivanju, tj. kao »radna čvrstoća«, nego će se morati konvencionalno odrediti za stanovit, prema nameni konstrukcije izabrani broj oscilacija opterećenja.

Dodatna sigurnost aluminijumskih konstrukcija nalazi se, u većoj meri nego za čelik, i u tome što se za proračun uzima uvek najniža vrednost od vrednosti danih u standardima mehaničkih vrednosti za dotičnu leguru (npr. u tablici 6 navedena je za zakaženu leguru AlCuMg raskidna čvrstoća $37\ldots 48 \text{ kp/mm}^2$; za proračun se uzima 37 kp/mm^2).

Za noseće konstrukcije od lakih legura može se smatrati dovoljnim koeficijent sigurnosti od $2,4\ldots 2,8$, i to: koeficijent 2,4 za konstrukcije izložene statičkom opterećenju (npr. u visokim gradnjama, gde se opterećenja redovno menjaju polako), koeficijent 2,6 za konstrukcije sa normalnom učestanosti izmeničnih opterećenja (npr. za cestovne mostove) i koeficijent 2,8 za konstrukcije sa izrazito često ponavljanim opterećenjem (npr. za železničke mostove).

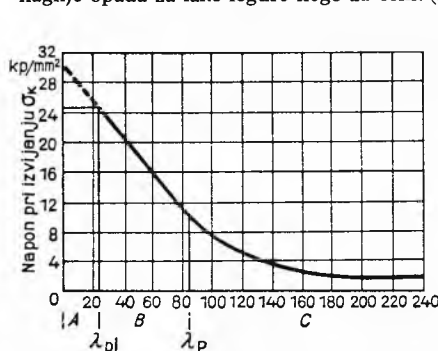
Ovde treba napomenuti da prema mišljenju nekih stručnjaka Al-legure još nisu podesne za izradu pretežno dinamički opterećenih konstrukcija. Ta mišljenja baziraju na nepovoljnim rezultatima ispitivanja čvrstoće zakovanih spojeva izloženih dinamičkom naprezanju.

Vlačna i tlačna naprezanja. Karakteristično je za Al-legure da pri polaganom povećavanju opterećenja trajna izduženja brže rastu nego pri brzom povećavanju, tj. pojavljuje se tzv. »puzanje« materijala.

Tlačna čvrstoća Al-legura stvarno se ne može odrediti pokušima, zbog pojave poprečnog izduženja. Dijagram napona pritiska i izduženja za termički potpuno poboljšane legure praktično se može u području malih izduženja uzeti antisimetrično dijagramu za slučaj vlačnih napona. Ovi se materijali mogu u tom području smatrati izotropnim.

Kritični naponi pri izvijanju u neelastičnom području, za manje stepene vitkosti, ne mogu se opće odrediti teorijski. Za istu leguru oni zavise ne samo od vitkosti štapa nego i od načina proizvodnje profila. U elastičnom području, tj. za $\lambda \geq \lambda_p$ rezultati pokusa za određivanje kritičnog napona slažu se sa Engesser-Shanleyevom teorijom.

S povećanjem stepena vitkosti λ kritični napon pri izvijanju naglie opada za lake legure nego za čelik (zbog malog E -modula).



Sl. 32. Kriva izvijanja za leguru AlMgSi F 32

U elastičnom području on za lake legure iznosi tek $\frac{1}{2}$ vrednosti za čelik. Da bi se postigle što veće uštede na težini, treba što bolje iskoristiti slobodne dimenzije prostora, kako bi se smanjio stepen vitkosti i ekonomično iskoristila čvrstoća materijala.

Na sl. 32 prikazana je kriva izvijanja za leguru AlMgSi F 32.

S ispravno dimenzioniranim pritisnutim elementima aluminijumskih legura mogu se postići uštede na težini prema čeliku od 50% i više.

Komparacija za vertikalni stup dana je u sledećoj tablici:

Čelik (Č. 37,12) cev $\varnothing 100 \times 10$		Aluminijum (AlMgSi F 32) cev $\varnothing 120 \times 11,5$	
L_k	2 000 mm	L_k	2 000 mm
γ	289,8 cm ⁴	γ	583,5 cm ⁴
F	28,28 cm ³	F	39,2 cm ³
P_k	67 363 kg	P_k	68 482 kg
G	22,2 kg/m	G	10,6 kg/m

Ušteda na težini 52%

Za utvrđivanje napona dopuštenih pri izvijanju značajno je da se moć nošenja pritisnutog štapa u području srednjih stepena

vitkosti osetljivo smanjuje već usled malih ekscentriciteta sile pritiska, koji se praktično ne mogu izbeći. To se može uzeti u obzir povećanjem koeficijenta sigurnosti u području neelastičnog izvijanja ($\lambda = 0 \dots \lambda_p$), u elastičnom području ($\lambda > \lambda_p$) to nije potrebno jer tu opada uticaj ekscentriciteta sile pritiska na moć nošenja.

Općenito treba izbegavati primenu vitkih pritisknutih štapova jer su neekonomični. To se može postići ako se oblik preseka štapa bira tako da stepen vitkosti bude manji od λ_p .

Savijanje. Zadaci dimenzioniranja konstruktivnih elemenata izloženih savijanju redovno se u praksi mogu rešiti, kao i za takve čelične elemente, po klasičnoj teoriji savijanja, tj. na osnovi Navier-Bernoullijeve hipoteze da prvobitno ravni preseki ostaju ravni i posle deformacije nosača, koja vredi za slučaj pravog savijanja profila simetričnih prema tragu ravni opterećenja.

Iskoristi li se prednost lakog oblikovanja profila od Al-legura da bi se u danom slučaju presek konstruktivnog dela prilagodio vrsti naprezanja savijanjem, on će često dobiti nesimetričan oblik. U tom slučaju mora se klasična teorija savijanja proširiti, uzimajući u obzir i torziono naprezanje pri savijanju. Račun se onda sprovodi po općim obrascima nauke o čvrstoći.

Ako se razmatrajući slučaj savijanja nekog elementa uzme da je dopušten veći uigib aluminijumskog elementa koji nastaje zbog manjeg modula elastičnosti, i ako se radi o leguri koja ima slične mehaničke karakteristike kao čelik, odnosiće se težine elementa od čelika i elementa od aluminijumske legure kao specifične težine materijala, tj. odnos će biti $7,85/2,7 \approx 3$. Ako uigib aluminijumskog elementa ne sme prekoračiti uigib elementa od čelika, mora se, dakako, povećati moment tromosti aluminijumskog elementa. Ovo povećanje mora odgovarati relaciji

$$I_{Al} = I_{\text{čel}} \frac{E_{\text{čel}}}{E_{Al}}$$

Kako je E -modul čelika 21 000 kp/mm², a E -modul aluminijuma 7000 kp/mm², jasno je da i moment tromosti aluminijumskog elementa mora biti 3 puta veći od momenta tromosti čelika.

Ovde se uočava još jedna vrlo važna činjenica. Naime, povećanjem momenta tromosti povećava se i moment otpora, pa se prema $\sigma = M/W$ smanjuju i naponi u aluminijumskom elementu, i to prema relaciji

$$\sigma_{Al} = \frac{W_{Al}}{W_{\text{čel}}} \cdot \sigma_{\text{čel}} \quad (\text{v. primer na sl. 33}).$$

Općenito će, zbog niskog modula E i time većih uigiba, primena Al-legura za konstruktivne delove izložene savijanju (nosače) biti značajnija ako su oni potpuno ili delomično uklešteni (kao npr. kontinualni nosači).

Izbočenje. Ako neki element od čeličnog lima zahteva izvesnu minimalnu debljinu da se pod delovanjem sile ne ispupči ili ulekne, onda mora (uz uvet jednake veličine polja) debljina takvog elementa od aluminijuma zadovoljavati sledeće uvete:

$$E_{Al} \cdot t_{Al}^3 = E_{\text{čel}} \cdot t_{\text{čel}}^3$$

$$t_{Al} = \sqrt[3]{\frac{E_{\text{čel}}}{E_{Al}}} \cdot t_{\text{čel}}$$

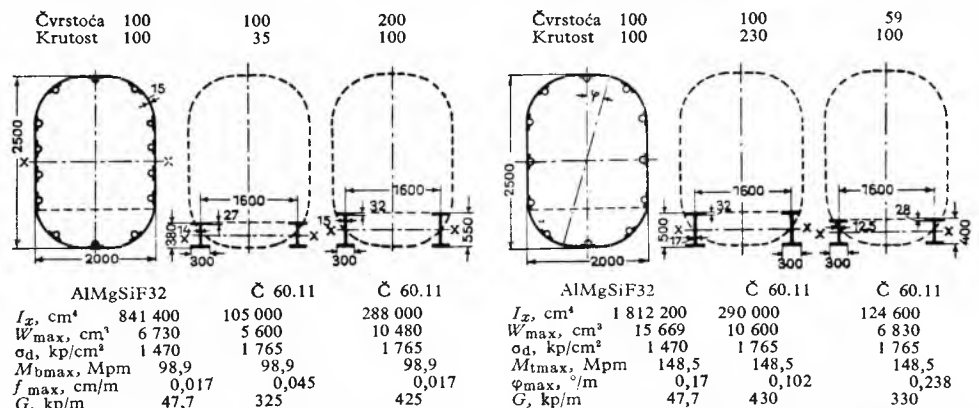
Budući da je $E_{\text{čel}} = 2100000$ kp/cm², a $E_{Al} = 700000$ kp/cm², izlazi da je potrebna debljina aluminijumskog lima

$$t_{Al} = \sqrt[3]{\frac{3}{1}} \cdot t_{\text{čel}}$$

U sledećoj tablici dane su usporedne debljine aluminijumskog i čeličnog lima uz uslov iste lokalne čvrstoće.

Č e l i k		A l u m i n i j u m	
Debljina lima mm	Težina kg/m ²	Debljina lima mm	Težina kg/m ²
0,8	6,24	1,2	3,25
1,0	7,80	1,5	4,07
1,5	11,70	2,2	5,96
2,0	15,60	2,9	7,86
2,5	19,60	3,6	9,76
3,0	23,40	4,3	11,60

Kako se vidi, ušteda na težini iznosi $\sim 50\%$.



Sl. 34. Uspoređenje izrade vozila od aluminijuma s nosećom korom i vozila čelične konstrukcije za slučaj naprezanja savijanjem

Sl. 35. Uspoređenje izrade vozila od aluminijuma s nosećom korom i vozila čelične konstrukcije za slučaj naprezanja torzijom

Za specijalne konstrukcije, kao npr. kompozitne ploče (sandwich), ploče s ispunom u obliku saća, dvostrukih ljuski i slično, uštede na težini mogu biti i veće.

Kao konkretan primer uzeta je analiza čiji su rezultati dani na sl. 34 i 35 (prema VLW). Na sl. 34 prikazana je komparacija izvedbe vozila od aluminijuma s nosećom korom i klasično konstruiranog vozila čelične konstrukcije za slučaj naprezanja savijanjem, a na sl. 35 za slučaj naprezanja torzijom. Kao materijal uzeta je za aluminijumsku konstrukciju legura AlMgSi F 32, a za čeličnu St. 60,11. Za zahtevanu čvrstoću, odnosno krutost, uzet je indeks 100. Kako se vidi, za slučaj savijanja, ukoliko čelična konstrukcija zadovolji uslove čvrstoće (tj. postigne indeks 100 kao i aluminijumska), indeks krutosti iznosi samo 35 i zbog toga treba celu konstrukciju dimenzionirati prema kriteriju krutosti. Kad se i za ovu postigne indeks 100, čvrstoća se popela na nepotrebnu vrednost indeksa 200, što znači neekonomičnu konstrukciju.

Slično je i za slučaj torzije, samo je tamo kritičan kriterij čvrstoće. U tom slučaju je uz krutost 100 indeks čvrstoće 59, odnosno, uz čvrstoću 100 krutost ima indeks 230.

Kako sve to utiče na ekonomičnost konstrukcije najbolje se vidi iz podataka o težini. Dok težina aluminijumske konstrukcija iznosi 47,7 kg/m, težina čelične konstrukcije je ~ 430 kp/m.

Postavlja se pitanje zašto se ne bi ovako izvela konstrukcija u čeliku. U principu ne postoje zapreke, samo bi to dovelo do vrlo tankih oplata (uz uslov da se materijal potpuno iskoristi radi uštede na težini), što bi ne samo predstavljalo velike proizvodne troškove nego dovelo u pitanje i lokalnu čvrstoću oplata. Da bi se to izbeglo, trebalo bi smanjiti veličinu polja radi ukrućenja oplata, što bi dovelo do velikog broja uzdužnih i poprečnih elemenata, a time i do komplikovane i skupe izvedbe, odnosno do povećanja težine.

Naprezanja usled brze rotacije ili oscilacije proporcionalna su, kako je poznato, težini materijala i broju okretaja odnosno broju oscilacija. Za geometrijski slične delove osim toga su proporcionalna i nekoj karakterističnoj dužinskoj meri, npr. prečniku,

dužini i sl. Ukoliko glavna naprezanja u nekom delu konstrukcije nastaju usled delovanja masa, malena specifična masa aluminijuma dolazi naročito do izražaja.

Usporedba između aluminijuma i čelika pokazuje da naprezanja u dva dimenzionalno jednaka elementa, za isti broj okretaja, u elementu od aluminijuma iznose svega $2,7/7,85 = 35\%$ od naprezanja u elementu od čelika.

Prema tome možemo zaključiti: da se čelici većih mehaničkih čvrstoća mogu zameniti Al-legurama normalne čvrstoće; da aluminijumske legure dopuštaju uz istu konstruktivnu izvedbu broj okretaja ili oscilacija uvećan za faktor $7,85/2,8 = 1,67$ u odnosu na čelik iste čvrstoće; da uz isti broj okretaja manji naponi u aluminijumu dopuštaju jednostavniju i lakšu konstrukciju nego što je čelična; da smanjenje težine povlači za sobom manje dimenzije osovina.

SVETSKA PROIZVODNJA ALUMINIJUMA

Aluminijum može se opravdano nazivati metalom dvadesetog stoleća: godine 1900 bila je svetska proizvodnja svega 7,3 kt, godine 1949 već 1257 kt, a godine 1958 čak 3544 kt. Time je aluminijum dostigao i prestigao sve obojene metale, čak i bakar. (Svetska produkcija bakra 1958 bila je 3384 kt, cinka 2830 kt, a olova 2395 kt.) Nijednom metalu nije proizvodnja porasla tako brzo. Naročito je upadljiva razlika u poslednjih desetak godina: proizvodnja glavnih obojenih metala (bakra, cinka i olova) povišala se od 1949 do 1958 za oko 50%, što odgovara porastu opšte industrijalizacije, proizvodnja aluminijuma se povišala za skoro 200%. Tablica 8 prikazuje proizvodnju i potrošnju aluminijuma za vreme od 1949 do 1961.

Tablica 8
SVETSKA PROIZVODNJA I POTROŠNJA ALUMINIJUMA

Godina	Proizvodnja (u kt)	Potrošnja (u kt)
1949	1257	1210
1950	1507	1584
1951	1808	1810
1952	2032	1958
1954	2820	2543
1956	3343	3223
1958	3544	3191
1959	4087	4025
1960	4541	4143
1961	4577	4485

Godine 1938 proizvodila je najviše aluminijuma Nemačka (161 kt), USA proizvodile su 130 kt, Kanada 66 kt, Sovjetski Savez 48 kt, Francuska 45 kt, Norveška, Švajcarska, Italija i Velika Britanija svaka oko 25 kt, a sve ostale zemlje oko 10 kt. Ukupna svetska proizvodnja 1938 bila je 580 kt. Za vreme rata sve države su znatno povišile kapacitete aluminijumskih preduzeća, tako da je danas raspored sasvim drukčiji (tabl. 9).

Tablica 9
SVETSKA PROIZVODNJA ALUMINIJUMA 1960 (u kt)

Sjedinjene države Amerike	1827	Kamerun	44
Sovjetski Savez	700	Švajcarska	40
Kanada	641	Velika Britanija	29
Francuska	235	Čehoslovačka	40
Nemačka Savez. Republika	169	Poljska	26
Norveška	165	Jugoslavija	25
Japan	133	Kina	70
Italija	84	Španija	29
Austrija	69	Švedska	15
Madarska	50	Ostale zemlje	53
Nemačka Demokratska R.	35	Svega	4540

Pored primarnog aluminijuma (proizvedenog iz boksita) proizvedene su i znatne količine sekundarnog metala iz otpadaka lakih legura. God. 1958 produkcija sekundarnog aluminijuma bila je u USA 257 kt, u Nemačkoj Saveznoj Republici 104 kt, u Velikoj Britaniji 101 kt, u Francuskoj 41 kt, u Italiji 26 kt itd.

Cena aluminijuma na berzi. Proizvodnja aluminijuma zahteva vanredno visoke osnovne investicije za fabrike glinice i za elektrolizu. K tome dolaze još visoke investicije za električne centrale. Proizvodnja tog metala je skoro isključivo u rukama velikih proizvođača ili država. Najveći producenti su: Aluminium Company of America (ALCOA), Aluminium Company of Canada (ALCAN), British Aluminium Co., Aluminium Français, Alu-

minium-Industrie A. G. (AIAG, Švajcarska), Vereinigte Aluminium-Werke (VAW, Nemačka), Montecatini (Italija) i dr. Ove velike finansijske grupe odlučuju u politici cene aluminijuma, koja zbog toga na berzama mnogo manje fluktuiira nego cene drugih obojenih metala.

Posle rata, u godinama 1945 do 1948, cena je bila vrlo niska, i to 0,15 dolara za 1 lb (0,454 kg). Tada je bila potražnja daleko manja od kapaciteta tvornica sagrađenih za vreme rata u Americi. Od 1948 dalje cena aluminijuma na berzama u New Yorku i u Londonu polagano je rasla do 1957. U poslednjim godinama cena na berzi je vrlo stabilna, čak pokazuje tendenciju snižavanja. Tablica 8 daje pregled prosečnih cena na berzama New Yorka (u dolarima za lb) i Londona [u funtama za long ton (1016 kg)].

Tablica 10
KRETANJE CENA ALUMINIJUMA

Godina	New York	London	Godina	New York	London
1945	0,150	89,2	1953	0,209	156,7
1946	0,150	73,7	1954	0,218	156,-
1947	0,150	78,3	1955	0,237	167,-
1948	0,157	81,7	1956	0,260	190,3
1949	0,170	95,7	1957	0,275	197,-
1950	0,177	113,8	1958	0,269	184,2
1951	0,190	124,-	1959	0,270	180,5
1952	0,194	155,8	1961	0,281	186,0

NAŠA PREDUZEĆA ZA PROIZVODNJU GLINICE I ALUMINIJUMA

Glinicu proizvode preduzeća: Kemična tovarna Moste (Ljubljana), Tvornica glinice i aluminija Lozovac (kod Šibenika) i Tovarna glinice in aluminija Kidričevo (Slovenija). Aluminijum se proizvodi u Lozovcu, u Kidričevu i u Tvornici lakih metala »Boris Kidrič«, Šibenik-Ražine.

Kemična tovarna Moste proizvodi, osim glinice, aluminijum-sulfat, alauin i druge proizvode, od 1908. Do Oslobođenja preduzeće je bilo vlasništvo porodice Giulini. Svu glinicu su do 1936 izvozili, većinom u Švajcarsku, kasnije su snabdevali i elektrolizu u Lozovcu. Kapacitet preduzeća je 8000 t glinice godišnje, pored drugih proizvoda. Produkcija glinice bila je 1959 god. 7242 tone.

Tvornica glinice i aluminija Lozovac osnovana je 1936; kapital je bio domaći i švajcarski. Tada je bila sagrađena elektroliza, i to 16 peći po 22 000 A. Do god. 1940 broj peći povećao se na 54, a god. 1949 dodali su još 14 peći. God. 1939 sagrađili su i sopstvenu tvornicu glinice i kaloričnu centralu. Električnu energiju dobiva tvornica iz centrale na Krki. Predratna proizvodnja (1939) bila je 741 tona glinice kao međuprodukt i 1795 tona aluminijuma. Posle rata produkcija se razvijala ovako:

Godina	1950	1955	1958	1959
Glinica	3060 t	4018 t	4000 t	4000 t
Aluminijum	1931 t	3256 t	3765 t	3204 t

Kapacitet preduzeća je 4100 tona glinice i 3800 tona aluminijuma, u toku je rekonstrukcija kojom će se kapacitet povišiti na 10 000 t glinice i preko 5000 t aluminijuma.

Tovarna glinice in aluminija »Boris Kidrič«, Kidričevo. Ovo preduzeće počeli su graditi Nemci za vreme okupacije 1942 u Strnišću kod Ptuja (Slovenija). Osnovano je bilo za prerađivanje istarskih, severnodalmatinskih, bosanskih i mađarskih boksita iskorišćenjem kalorične energije basena Velenje i Posavlje i vodenih snaga reke Drave. Posle rata nastavila se nakon duže pauze gradnja, tako da je tvornica glinice proradila u letu 1954, a elektroliza krajem iste godine. Glinicu proizvodi po modifikovanom Bayerovu postupku (u tornjevima) i postupkom sinterovanja. Kapacitet tvornice je 50 000 tona glinice godišnje. Predviđen je prelaz na kontinualni postupak Bayer-Pechiney i povišenje kapaciteta na 90 000 tona glinice godišnje.

U elektrolizi je 160 peći po 47 kA. Kapacitet je 17 000 tona aluminijuma godišnje. U gradnji je paralelni pogon, tako da će kapacitet od 1962 dalje biti 33 000 tona aluminijuma godišnje. Proizvodnja se odvijala ovako:

Godina	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Glinica	4 182 t	33 768 t	37 861 t	40 032 t	43 728 t	45 900 t
Aluminijum	758 t	8 243 t	11 355 t	14 962 t	16 820 t	14 328 t

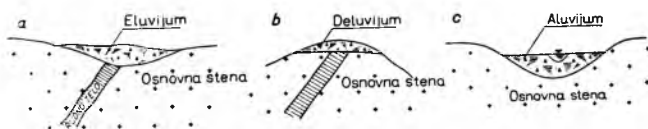
Tvornica lakih metala »Boris Kidrič«, Šibenik sagrađena je 1954 za preradu aluminijuma i njegovih legura valjanjem i presovanjem, sa kapacitetom 16 000 t aluminijumskih proizvoda godišnje. Kasnije je sagrađena i elektroliza, koja ima 80 peći s kapacitetom 4500 t aluminijuma. Tvornica je 1959 dala 1713 t aluminijuma i 11 732 t aluminijumskih proizvoda, i to: 6069 t limova, traka, rondela i folija, 4732 t žice, 747 t presovanih i vučenih profila i 184 t cevi. U narednim godinama proizvodnja je dalje rasla.

Industrija metalnih polizdelkov (IMPOL), Slovenska Bistrica je staro poduzeće, koje je prerađivalo bakar, a nedavno se preorijentiralo na preradu aluminijuma. Kapacitet je 12 000 t valjanih i presovanih proizvoda od aluminijuma i lakih legura.

Naučnim istraživanjem i razvojem primene aluminijuma i njegovih legura bavi se u Jugoslaviji Instiut za lake metale u Zagrebu.

LIT.: J. D. Edwards, F. C. Frary i Z. Jeffries, The aluminum industry, New York 1930. — N. Panseri, L'alluminio e le sue leghe, Milano 1942. — J. D. Edwards i F. Keller, Aluminium, u R. E. Kirk i D. F. Othmer, Encyclopedia of chemical technology, vol. I, New York 1947. — A. Zeiler, Technologie der Leichtmetalle, Zürich 1947. — A. Lahodny, Aluminij i njegove legure, Zagreb 1948. — H. Brown, Aluminum and its applications, New York 1948. — W. Fulda i H. Ginsberg, Tonerde und Aluminium, Berlin 1951/53. — N. Tafel, Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Leipzig 1954. — Metal industry handbook, London 1954. — G. A. Pagonis, The light metals handbook, New York 1954. — Aluminium-Taschenbuch, 10. izd., Düsseldorf 1954. — Д. И. Беляев, Металлургия легких металлов, Москва 1954. — В. А. Мазель, Производство глинозема, Москва 1955. — F. Stüssi, Tragwerke aus Aluminium, Berlin V. Fh., V. Li. i F. Hi.

ALUVIJALNA RUDNA NALAZIŠTA, tip klastičnih ili mehaničkih sedimentnih nalazišta koja se sastoje od peska, šljunka i drugog aluvija, a sadrže čestice jednog ili više korisnih minerala u količini koja omogućuje ekonomsku eksploataciju. Izraz »aluvijalni« u širem smislu odnosi se na materijal različite krupnoće i sastava koji se naziva *aluvion*, *detritus* ili *drobnina*, a nastao je tako da je uticajem erozije odvaljen na jednom mestu pa tekućim vodama prenesen i taložen na drugom. U našem jeziku se kao sinonimi upotrebljavaju također izrazi: *nanosi*, *sipine*, *naplavine* (nemački »Seifen«, engleski »placer«, ruski »посыль«). Svi navedeni izrazi, i naši i strani, imaju isto značenje i asocijaciju: misli se na materijal koji je nanesen, naplavljen ili nasut. U užem smislu izraz »aluvijalni« odnosi se na krajnji stadijum obrazovanja mehaničkih sedimentnih nalazišta kojem prethode još dva stadijuma: 1. *eluvijalni*, kada u procesu rušenja materijal ne bude odnesen, već ostaje na mestu (in situ) gde se i raspao (sl. 1a); 2. *deluvijalni*, kada detritus pod delovanjem

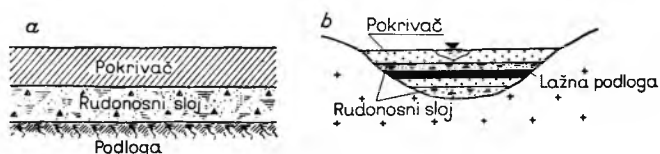


Sl. 1

sile teže počne da klizi po padinama (sl. 1b). Treći je onda *aluvijalni stadij*, kada materijal deluvija side u dolinu i dođe pod uticaj tekućih voda te bude odnesen na znatnu daljinu, pa se tako podvrgava daljem drobljenju i taloženju na dnu reka, potoka i drugih tekućih voda (sl. 1c).

U ekonomskom pogledu, aluvijalna rudna nalazišta predstavljaju veoma značajan oblik pojavljivanja korisnih minerala kao što su zlato, kalaj, platina, dijamant, zatim monacit, volfram, titanovi minerali i drugi.

U svakom aluvijalnom nalazištu razlikuju se 3 elementa (sl. 2a):



Sl. 2

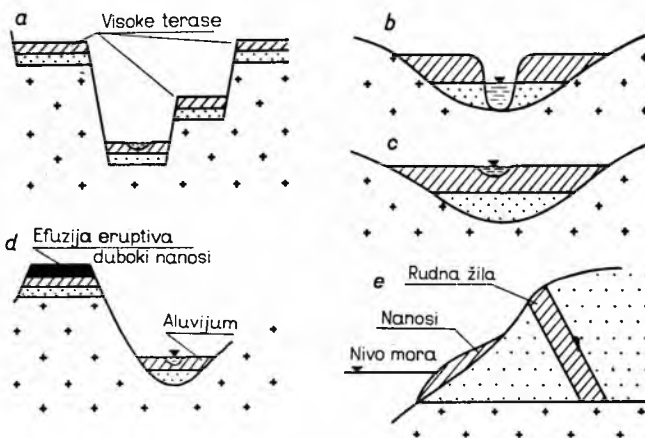
Pokrivač nanosa (over-burden), obično njegov jalovi deo koji se sastoji od sloja humusa, gline ili krupnog šljunka. Njegova moćnost varira od 0 do nekoliko metara.

Rudonosni pesak ili *sloj* (gravel), koji se sastoji od šljunka, peska i oblutaka razne veličine, izmešan obično s kakvim glinastim materijalom, retko kad cementiran. Taj deo nanosa u sebi nosi korisne minerale. Moćnost rudonosnog sloja varira od 0,15 do 4,00 m. Odnos pokrivača prema rudonosnom sloju često uslovljuje način ili mogućnost eksploatacije nanosa.

Podloga (bedrock) na kojoj nanos leži. Obično je to stena, glina ili neki stariji nanos. Karakter podloge važan je pri izboru načina eksploatacije jer su obično korisni minerali koncentrisani na njenoj površini.

Ima slučajeva da usled promene uslova sedimentacije rudonosni sloj bude pokriven nekim jalovim slojem pa se kasnije opet formira rudonosni sloj. Svaki se takav jalovi sloj naziva *lažnom podlogom* (false bedrock, sl. 2b).

Vrste ili tipovi aluvijalnih rudnih nalazišta vezanih za savremene rečne sisteme. *Nalazišta visokih terasa* (high-terrace, sl. 3a) imamo kada se podloga nalazi iznad nivoa reke. Takav tip ima često veliki industrijski značaj jer se na njemu lako izvode istražni i eksploatacioni radovi. Primera takvih nalazišta ima na Aljasci u dolini reke Klondyke. *Nalazišta niskih terasa* (low-terrace, sl. 3b) imaju podlogu približno na istom nivou kao i rečni tok, što znači da reka teče ili po podlozi nanosa ili blizu nje. Ovaj tip je razvijen u Etiopiji u dolini reke Awate.



Sl. 3

Plavljene doline (valley flats, sl. 3c) imamo kad podloga leži ispod nivoa reke, što znači da reka teče po samom aluviju. Taj tip nalazimo u Jugoslaviji u dolinama reka Peka i Mlave. To je najrasprostranjeniji tip aluvijalnih nalazišta. *Duboki nanosi* (deep placer, sl. 3d) odlikuju se velikom moćnošću, što im je osnovno obeležje. Vrlo često su prekriveni efuzijama mlađeg eruptiva, obično bazalta. Primeri takvih tipova nalaze se u Nigeriji, Viktoriji, Kaliforniji. Poznato dijamantsko rudište Droogeveld Chanel u Transvalu pripada ovom tipu.

Aluvijalna nalazišta koja nisu vezana za savremene rečne sisteme su stare napuštene suve doline i meandri u kojima je proces taloženja već završen. U takvim se nalazištima korisni minerali nalaze na podlozi ili na visini od 0 do 1 m iznad nje. Takva se nalazišta susreću u Etiopiji (Bore Valley). *Obalskomorski nanosi* (sea-beach placer, sl. 3e) nastali su usled dejstva talasa pri čemu talasi vrše dvojak funkciju: ruše obalu u kojoj se već nalazi kakvo primarno rudište, kakav stari nanos, te prenose i sortiraju zdrobljeni materijal. Primer takvog nalazišta je Cape Nome na Aljasci. Ili reka snese detritus sa kopna u more gde ga talasi izbace na obalu pa se tu istaloži. Primer toga su nanosi kod Ulcinja.

Nabrojani glavni tipovi aluvijalnih nalazišta imaju industrijski značaj. Ima i drugih tipova, ali su mnogo redi. To su: *eolska nalazišta*, koja nastaju pod dejstvom vetra u aridnom podneblju; *kolvijalna*, koja nastaju na padinama pod dejstvom temperaturnih razlika, sile teže i kiše (primer: volframska rudišta Widnes u Burmi); *lednička ili glečerska*, koja nastaju radom glečera kad se spuštaju u doline; *jezerska nalazišta*, nastala dejstvom jezerskih talasa i taloženjem detritusa u obalskom delu jezera. Takvi se