

ümbersulatamiseks. Titaanisulamitest valuplokkide saamiseks lisatakse käsntitaani pulbrile lisaks legerivate elementide pulbrid.

5.2.2. Vask ja vasesulamid

Vask on olnud üks tähtsam tehnometall enam kui 6000 aastat. Puhta metallina on vask olnud elektrotehnikatööstuse selgroog. Ta on samuti arvukate sulamite, nagu messingid ja pronksid, põhikomponent. Võrreldes teiste tehnomaterjalidega, on vase ja vasesulamite olulised omadused järgmised:

- 1) hea elektri- ja soojuhtivus;
- 2) suur tugevus samaaegse suure plastsusega;
- 3) korrosioonikindlus paljudes keskkondades.

Tänapäeval on palju äärmiselt kasulikke vasesulameid, kuid metalli kõrgest hinnast tingituna on need paljudel juhtudel asendumas odavamate materjalidega, nagu alumiiniumisulamid ja plastid.

Puhas vask

Sulatusmetallurgia (püro- või elektrometallurgia) teel saadakse **toorvaske** (*blister copper*), mis sisaldab 98,5...99,5 % Cu ja lisandina rauda, väävlit, hapnikku. Toorvask rafineeritakse, mille tulemusena saadakse puhas elektrolüütiline vask ehk katoodvask vasesisaldusega 99,2...99,8 %.

Puhta vase (99,8 % Cu) põhilised omadused on Tabelis 5.15.

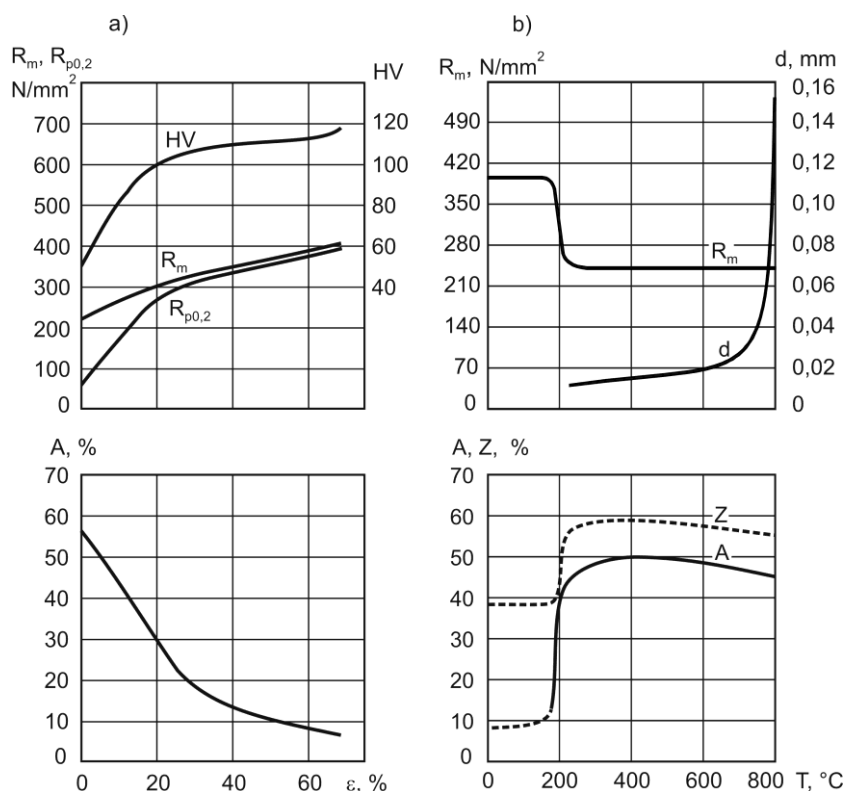
Lõõmutatud vase elektrijuhtivus ($1/\rho$) temperatuuril 20 °C on 58 ($\Omega \cdot \text{mm}$)⁻¹, mis on võetud elektrijuhtivuse standardiks ja võrdub 100 %-ga IACS järgi (*International Annealed Copper Standard*). Lõõmutatud olekus puhta vase tõmbetugevus on ca 200 N/mm², plastsus ligi 60 %.

Puhta vase nagu alumiiniumigi mehaanilised omadused sõltuvad suuresti deformatsiooniastmest külmdeformeerimisel ja kalestunud metalli järgnevast lõõmutamisest (Joonis 5.30a). Rekristallisatsioonitemperatuur on vase puhtusastmest: elektrolyütvasel on see ca 200 °C, fosforit sisaldaval vasel ca 300 °C. Lõõmutamisel väheneb tõmbetugevus (Joonis 5.30b), suurenevad plastsusnäitajad ja märgatavalt ka terasuurus.

Tabel 5.15. Puhta vase (99,8% Cu) põhilised omadused

| Omadus | Tähis | Väärtus |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| Sulamistemperatuur | $T_s, ^\circ\text{C}$ | 1083 |
| Kristallivõre | – | K12 |
| Tihedus | $\rho, \text{g/cm}^3$ | 8,96 |
| Normaalelastsusmoodul | $E, \text{N/mm}^2$ | $122 \cdot 10^3$ |
| Tõmbetugevus | $R_m, \text{N/mm}^2$ | 200 |
| Eritakistus 20 °C | $\rho, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ | $1,8 \cdot 10^{-8}$ |
| Soojusjuhtivustegur | $\lambda, \text{W/m}\cdot\text{K}$ | 390 |
| Joonpaisumistegur | $\alpha, 1/\text{K}$ | $17 \cdot 10^{-6}$ |
| Korrosioonikindlus | – | Väga hea |

Puhta vase kasutusala jaoks elektrotehnika on (igasugused elektrimähised ja -juhtmed), arhitektuur (pindade katmine), kodune majapidamine, toiduaine- ja keemiatööstus (mitmesugused nõud ja mahutid, soojusvahetid jm).

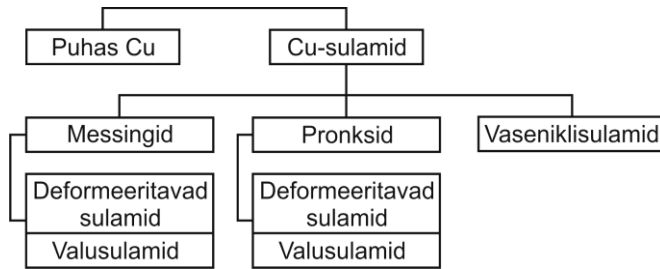


Joonis 5.30. Deformeerimise (a) ja sellele järgneva lõõmutamise mõju deformeeritud (deformatsiooniasse 60 %) vase mehaanilistele omadustele (b)

Vaske legeeritakse väga mitmesuguste elementidega ja saadakse kasulikke sulameid.

Vasesulamid liigitatakse, lähtudes keemilisest koostisest ja neist toodete valmistusviisi järgi järgmiselt (Joonis 5.31):

- vasesingisulamid – **messingid** ehk **valgevased** (*brasses*),
- vasetina, vasealumiiniumi- jt sulamid – **pronksid** (*bronzes*),
- **vaseniklisulamid** (*cupro-nickels*).



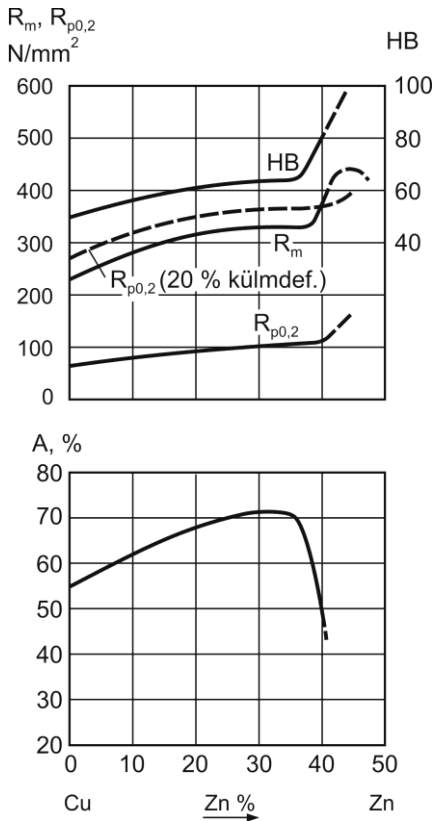
Joonis 5.31. Vasesulamite liigitus koostise ja neist toodete valmistusviisi järgi

Messingid

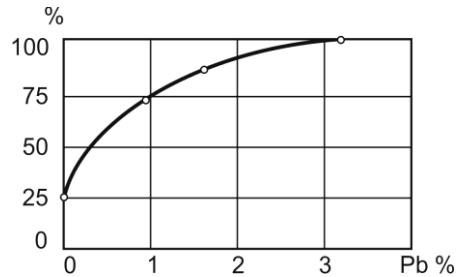
Tsingi lisamine vasele soodustab sulami tugevuse suurenemist eelkõige tänu tsingi lahustumisele vases; samuti suureneb ka sulami plastsus (Joonis 5.32), mis on ebaharilik. Kõrge plastsusega sulamitena on tuntud 10...20 % Zn-sisaldusega messingid, nn **tombakud** (*gliding metals*), mida kasutatakse juveelitööstuses (suveniirmärgid jt), soojusvahetite valmistamiseks hea soojusjuhtivuse tõttu, ja 30 % Zn-sisaldusega messing, nn **hülsimessing** (*cartridge brass*), mida kasutatakse mürsukestade valmistamiseks. Deformeeritava messingi Zn-sisaldus piirdub tavaliselt 35 %-ga. Edasine Zn-sisalduse tõus toob kaasa messingi plastsuse vähenemise, kuid sulam on mõnevõrra odavam. Cu/Zn vahekorras 70/30 ühefaasiliste α -messingite omadusi võib mõnevõrra parandada väikestes kogustes teiste lisandite sisseviimisega. Väikestes kogustes Sn ja Al lisamine parandab messingi korrosioonikindlust merevees, 1...2 % Pb lisamine parandab aga messingi lõiketöödeldavust (Joonis 5.33). **Hea lõiketöödeldavusega messing** (*free cutting brass*) sisaldab ca 40 % Zn ja 1...2 % Pb (selle messingi suhtes võrreldakse teiste vasesulamite lõiketöödeldavust).

Tulenevalt Cu-Zn-süsteemi faasidiagrammist jagunevad enim kasutatavad Cu-Zn-sulamid ühefaasilisteks (α -messingid) või kahefaasilisteks ($\alpha + \beta$ messingid).

Ühefaasilised α -messingid on plastsed ja sobivad külmsurvetöötluks, kuna vask annab tsingiga ühefaasilise tardlahuse Zn-lahustuvusega kuni 39 %. Suurematel Zn-sisaldustel lisanduvad struktuuri keemilised ühendid (β - ja γ -faas), mis on kõvad ja haprad, mistõttu neid faase sisaldavad sulamid on samuti survetöödeldavad, kuid kõrgematel temperatuuridel; nad on ka valatavad.



Joonis 5.32. Messingi mehaaniliste omaduste sõltuvus Zn-sisaldusest



Joonis 5.33. Plii mõju messingi lõiketöeldavusele

Kahefaasilised ($\alpha + \beta$)-messingid koosnevad tardlahusest α ja keemilisest ühendist β ning nad on vormitavad kuumsurvetöötlemise või valamise teel. Kasutatavamad ($\alpha + \beta$)-messingid on Cu/Zn vahekorras 60/40, need on tuntud **muntsmetallina** (*Muntz metal*) (Tabel 5.16). Omaduste parandamise eesmärgil legeritakse ($\alpha + \beta$)-messingeid teiste elementidega: väikestes kogustes Pb lisamine tagab hea lõiketöeldavuse; selliste lisandite nagu Mn, Sn, Al, Fe või Ni lisamine tõstab märgatavalt messingi tugevust. Mn-sisaldavad sulamid on tuntud ka kõrgtugevate messingitena. Neid kasutatakse valatuna (head valuomadused tänu väikesele kristallisatsioonivahemikule) või kuumsurvetöödelduna. Üle 50 % Zn-sisaldusega messingeid praktiliselt ei kasutata, kuna struktuuri tulev γ -faas teeb sulamid hapraks.

Messingid ei nõua sulatise desoksüdeerimist enne vormi valamist, kuna esiteks alandab Zn tunduvalt messingi sulamistemperatuuri (on ca 900 °C), teiseks tõrjub osa Zn lendumine sulatisest hapnikku (kerged tsingiaurud moodustavad vedelmetalli pinnal kaitsva keskkonna).

Tabelis 5.16 on esitatud mõningate vasesulamite omadused.

Tabel 5.16. Vase ja mõningate vasesulamite koostis, omadused ja kasutus

| Sulam | Koostis | Olek* | Tõmbe- tugevus R_m , N/mm ² | Omadused, kasutus |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Puhas vask | 99,8 % Cu | L | 220 | Hea elektrijuhtivusega, voolujuhid Keemiaseadmed, sügavtõmmatud tooted |
| | | K | 350 | |
| | 99,5 % Cu | L | 220 | |
| | | K | 400 | |
| Messingid <u>α-messingid</u> Tombak | 90 % Cu 10 % Zn | L | 280 | Juvelitooted, rakenduskunst |
| | | K | 510 | |
| Pooltombak | 80 % Cu 20 % Zn | L | 310 | Kõrgplastne sügavtõmbamiseks, mürsukestad |
| | | K | 510 | |
| Hülsimessing | 70 % Cu 30 % Zn | L | 325 | |
| | | K | 700 | |
| <u>$\alpha+\beta$-messingid</u> Muntsmetall | 60 % Cu; 40 % Zn | VO | 375 | Kondensaatorid ja soojusvahetid |
| Hea löiketöõdel- davusega messing | 58 % Cu; 40 % Zn; 2 % Pb | L | 380 | Sobilik automaatpinkidel detailide valmistamiseks |
| | | K | 590 | |
| Pronksid Tinapronks (fosforpronks) | 10 % Sn; 0,5 % P; ülejä Cu | VO | 280 | Üldotstarbelised valandid ja laagrid |
| Tinapronks (punapronks) | 10 % Sn; 2 % Zn; ülejä Cu | VO | 300 | Survetihedad valandid, pumpade osad |
| Alumiiniumpronks | 5 % Al, ülejä Cu 10 % Al, ülejä Cu | VO | 700 | Mündimetall (vasekarva) Kõrgtugevad valandid ja sepised |
| | | VO | 700 | |
| Vaseniklisulamid Mündimelhiior | 25 % Ni, Cu ülejä | L | 360 | Mündimetall (hõbedane) |
| Uushõbe | 18 % Ni, 20 % Zn, Cu ülejä | K | 600 | |
| | | L | 375 | |
| | | K | 650 | |

* L – löõmutatud; K – kalestatud; VO – väljastamisolek (valatud või kuumtöödeldud).

Pronksid

Tinapronksid

Tinapronkside (*tin bronzes*) Sn-sisaldus ei ületa kasutatavais Cu-Sn-sulameis 20 %. Survetöödeldavate tardlahuse struktuuriga sulamite Sn-sisaldus ei ületa tavaliselt 7 %; need sulamid on plastsed, hästi survetöödeldavad, kuid ka kiirelt kalestuvad ning neid kasutatakse mitterauasulameist vedrude, müntide ja ornamentaalse pronkspleki valmistamiseks. Tõsi, valusulameis tuleb juba alates 5 % Sn-sisaldusest struktuuri mõningal määral keemiline ühend tingituna eelkõige nende sulamite laiaast kristallisatsioonintervallist (likvidus- ja solidusjoone vahest). Seetõttu tekivad kristalliseerumise algstaadiumis tinavaesed kristallid, selle lõppstaadiumis aga tinarikkad keemilist ühendit sisaldavad kristallid. See sulami keemilise koostise ebahühtlus – likvatsioon – on kõrvaldatav pikaajalise lõõmutamisega; lõpptulemuseks on valandi suur poorsus. Seetõttu pole need sulamid sobivad survetöötlemiseks ja neid kasutatakse eelkõige valatud olekus. Tinapronksid vajavad enne valamist desoksüdeerimist, milleks kasutatakse fosforit. Vajaliku fosforikoguse lisamisel peetakse silmas, et sulam sisaldaks pärast desoksüdeerimist teatud jääkfosforit (kuni 1 %). Selliseid tinapronkse nimetatakse **fosforpronksideks** (*phosphor bronzes*). Jääkfosfor tõstab tinapronksi tugevust.

Kahefaasiliste tinapronkside põhiline kasutusala on laagrimaterjalid. Kahefaasiline struktuur sobib selleotstarbelistele materjalidele, kuna α -tardlahuse struktuuriga maatriks tagab laagri hea sissetöötavuse ja vastupanu löökidele, väga kõvad ja haprad keemiliste ühendite osakesed kannavad koormust ja tagavad hea kulumiskindluse (vt p 5.2.4, Joonis 5.42).

Tinapronksidesse lisatakse ka tsinki ja pliid: Zn lisatakse sulami valuomaduste parandamiseks ja ka sulami odavamiseks. Tsinki sisaldavat tinapronksi nimetatakse ka **relvametalliks** (*gun-metal*), kuna varasematel aegadel valati neist raskeid suurtükke. Väikestes kogustes Pb lisamine parandab tinapronkside löiketöödeldavust, suurtes kogustes (kuni 25 %) lisatakse pliid laagrimaterjalina kasutatavatesse **pliipronksidesse** (*lead bronzes*).

Alumiiniumpronksid

Alumiiniumpronkside (*aluminium bronzes*) omadused on sarnased tinapronkside omadega. Need sulamid on eelkõige ühefaasilised ja hea külmsurvetöödeldavusega; neid kasutatakse ka mündimetallina. Kahefaasilisi Al-pronkse kasutatakse eelkõige valatult või detailide valmistamiseks kuumsurvetöötamise teel. Alumiiniumpronkse Al-sisaldusega ca 10 % (Tabel 5.16) kasutatakse laeva sõukruvide, klappide, pumpade jms merelistes tingimustes töötavate seadmete või nende osade valmistamiseks.

Ränipronksid

Räni lahustuvus vases piirdub temperatuuril 850 °C 5,3 %-ga ja väheneb temperatuuri alanedes. Tehnikas kasutatavad **ränipronksid** (*silicon bronzes, silicon-coppers*) sisaldavad tavaliselt 3 % Si ja on homogeense ühefaasilise struktuuriga. Tavaliselt on ränipronksid legeritud väikestes kogustes Mn-ga (kuni 1 %). Ühefaasilisest struktuurist tulenevalt on ränipronksid hästi survetöödeldavad nii külmalt kui ka kuumalt. Ränipronkside omadused on ligilähedased tinapronkside omadustele, mistõttu neid kasutatakse sageli tinapronkside asemel.

Berülliumpronksid

Berülliumpronksid (*beryllium bronzes, beryllium-coppers*) Be-sisaldusega kuni 2,7 % on suurima tugevusega vasesulamid. Sulamid on termotöödeldavad (karastatavad ja vanandatavad) nagu Al-Cu-sulamid, mille tulemusena saavutatakse tugevus koos karestusega kuni 1400 N/mm². Enim kasutatav berülliumpronks sisaldab 2 % Be, kuid teistes sulamites on Be-sisaldus 0,4...2,7 % koos väikestes kogustes Co ja Ni-ga. Berülliumpronksi kasutatakse korrosioonikindlate vedrude ja membraanide, sädet mitteandvate tööriistade jm valmistamiseks.

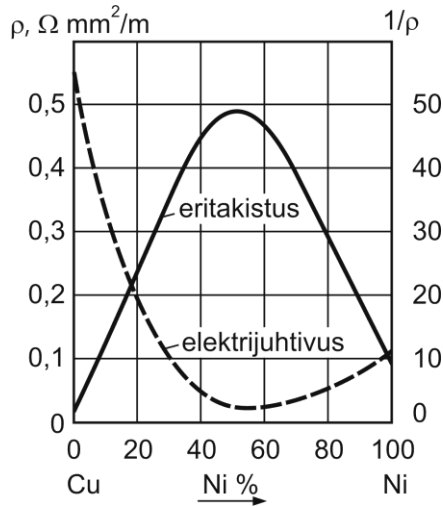
Vaseniklisulamid

Nikkel on piiramatult lahustuv vases (vt faasidiagrammi p 3.2, Joonis 3.4 b) ning **vaseniklisulamid** (*cupronickels*) on tugevad ja plastsed sulamid. Vaseniklisulamid on suurepärase korrosioonikindlusega ja eriliste elektriliste omadustega (vt. Joonis 5.34).

Cu-Ni-sulamite joonpaisumistegur Ni-sisaldusel 40...50 % on nullilähedane, samas on elektrieritakistus aga maksimaalne. Väike joonpaisumistegur säilib kuni temperatuurini 500 °C, mistõttu **konstantaana** (*constantan*) tuntud Cu-Ni-sulamit (55 % Cu, 45 % Ni) kasutatakse elektri- ja täppisseadmes, kus esinevad suured temperatuurikõikumised.

Korrosioonikindlad vaseniklisulamid sisaldavad ca 30 % Ni ja vähesel määral Fe ning Mn, mistõttu nad on eriti püsivad merevees. Mõningate vaseniklisulamite koostis ja omadused on Tabelis 5.16.

Vaseniklisulamid Ni-sisaldusega 20...25 % on tuntud mündimetallina – **mündimeliorina** (*coin cupronickel, British silver*). Teisteks nimetatud vaseniklisulami kasutusvaldkondadeks on soojusvahetid, jahutussüsteemid, laevaehituses jt. Tsingi lisamisel Cu-Ni-sulamitesse saadakse sulam (45...75 % Cu, 10...20 % Ni, 20...35 % Zn), mis on tuntud **uushõbedana** ehk **alpakana** (*nickel silver, German silver, newsilver*). Uushõbe on väga plastne sulam, mille põhiliseks kasutusvaldkonnaks on juveelitööstus (dekoratiivesemed, terariistad). Tavaliselt kaetakse need õhukese hõbedakihi, andes neile hõbedase väljanägemise.



Joonis 5.34. Cu-Ni-sulamite eritakistuse ja elektrijuhtivuse sõltuvus koostisest

Vasesulamite tähistus

Vase ja vasesulamite margitähistus põhineb eurostandarditel EN1412 ja EN1982

Vase ja vasesulamite tähistus, mille järgi kasutatakse kahte tähist:

- 1) margitähist (see määrab keemilise koostise), mis koosneb tähttähistest **Cu**, millele järgneb puhta Cu korral vase tüüpi iseloomustavaid suurtähti, näiteks Cu-ETP jt, sulamite korral legerivate elementide sümbolid ja nende nominaalsisaldus (täisarv %), näiteks CuZn36Pb3, valusulamite korral lisandub eesliide G või erivaluviiside tähised (GS – liivvormvalu, GM – püsi-vormvalu, GZ – tsentrifugaalvalu, GS – pidevalu, GP – survevormvalu), näiteks G-CuSn10;
- 2) tunnusnumbrit (materjali margi numbertähis). Tunnusnumber sisaldab kaheko-halist tähttähist (esimene täht C – vase baasil materjal; teine täht C – valusu-lam, W – deformeeritav sulam jt), millele järgnevad materjaligrupi tähistavad kolm numbrit (000...999) ja materjaligrupi tähttähis (puhas vask – A või B, madallegeeritud Cu-sulamid (legerivaid elemente < 5 %) – C või D, Cu-Al-sulamid – G, Cu-Zn-sulamid – L, Cu-Ni-sulamid – H jne), näiteks CW101C (CuBe2), CC508L (CuZn37).

Cu ja vasesulamite oleku (omaduste) tähistamiseks tuuakse margitähise järel tähed, mis näitavad

- A – katkevenivust,
- B – vedru paindetugevust,
- D – tõmmatud, mehaanilisi omadusi määratlemata,
- G – terasuurst,
- H – Vickersi kõvadust,

M – valmistusolekus, mehaanilisi omadusi määratlemata,
 R – tõmbetugevust,
 Y – tinglikku voolepiiri,

millele järgnevad (v.a D, G, M) vastavaid mehaanilisi omadusi näitavad arvud, näiteks

Cu-OF - A007 (katkevenivus 7 %),
 CuZn37 - G020 (terasuurus 20 μm),
 CuZn37 - H150 (kõvadus 150 HV),
 CuZn39Pb3 - R500 (tõmbetugevus 500 N/mm²).

5.2.3. Alumiinium ja alumiiniumisulamid

Alumiiniumi on üldse tööstuslikult kasutatud ainult *ca* 125 aastat; praegusajal järjestub ta mahult ja kulude poolest teiseks terase järel. Siit on alumiinium ja alumiiniumisulamid olulised väga paljudes majandusharudes: transpordis, konteineri- ja pakenditööstuses, ehituses, elektrotehnikas, masinaehituses jt. Alumiiniumi ja alumiiniumisulamite kui tehnomaterjalide unikaalsed ja külgetõmbavad omadused on nende kergus (tihedus 2,7 g/cm³), korrosioonikindlus, hea elektri- ja soojusjuhtivus, töödeldavus ja peaaegu piiramatult viimistletavus. Tõsi, alumiiniumisulamite hind võrreldes teraste omaga on neli-viis korda suurem. Samas moodustab alumiiniumi ja alumiiniumisulamite taaskasutusel vajalik energia ainult 5 % energiast, mida on vaja alumiiniumi tootmiseks.

Alumiinium

Alumiiniumoksiidi elektrolüüsil saadud alumiiniumi puhtus on 99,5...99,8 % piires, mille põhilisteks lisanditeks on raud, räni ja mangaan. Suurema puhtusega alumiiniumi (kuni 99,9 % Al) saadakse alumiiniumi rafineerimise teel; selle põhilised omadused on toodud Tabelis 5.17.

Tabel 5.17. Puhta alumiiniumi (99,9 % Al) põhilised omadused

| Omadus | Tähis | Väärtus |
|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| Sulamistemperatuur | $T_s, ^\circ\text{C}$ | 660 |
| Kristallivõre | – | K12 |
| Tihedus | $\rho, \text{g/cm}^3$ | 2,70 |
| Normaalelastsusmoodul | $E, \text{N/mm}^2$ | $70 \cdot 10^3$ |
| Tõmbetugevus | $R_m, \text{N/mm}^2$ | 70...135 |
| Eritakistus 20 °C | $\rho, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ | $2,8 \cdot 10^{-8}$ |
| Soojusjuhtivustegur | $\lambda, \text{W/m}\cdot\text{K}$ | 204 |
| Joonpaisumistegur | $\alpha, 1/\text{K}$ | $24 \cdot 10^{-6}$ |
| Korrosioonikindlus | – | Väga hea |