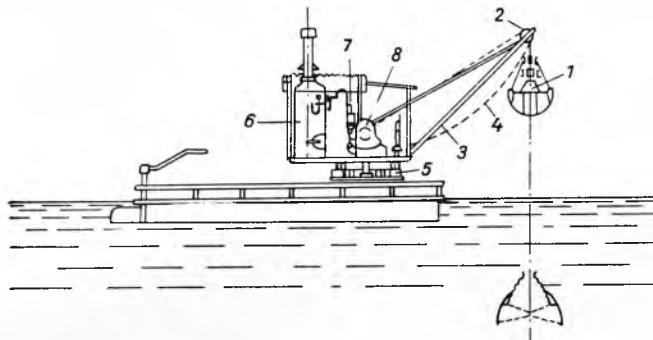


kašike,  $n$  broj zahvata kašike u jedinici vremena,  $\alpha$  koeficijent punjenja kašike,  $r$  koeficijent rastresitosti.

Kako je mogućnost okretanja postolja plovnih bagera kašikara ograničena, potrebno je da se radi većeg efektivnog učinka što bolje organizira manevriranje plovilom u koje se sipa iskopani materijal.

*Plovni bageri s grabilicom* (hvatačem) imaju obrtno postolje koje je montirano i učvršćeno na konstrukciji palube plovila (sl. 51). Ponekad se za podvodne iskope upotrebljavaju bageri gušjeničari s grabilicom na svršishodan način učvršćeni na podesna plovila.



Sl. 51. Plovni bager sa grabilicom. 1 grabilica, 2 kolotur, 3 strijela, 4 uže za otvaranje grabilice, 5 obrtno postolje, 6 parni kotao, 7 parno vito, 8 bubanj vita

Konstrukcije i tipovi plovnih bagera s grabilicama, njihov radni proces i proračun njihova efektivnog učinka u svemu su isti kao i kopnenih bagera s grabilicama.

J. Bj.

LIT.: G. Garbotz, Handbuch des Maschinenwesens beim Baubetriebe, Berlin 1931. — M. Г. Новожилов, Открытые горные работы, Свердловск—Москва 1950. — A. Gabay, Les engins mécaniques de chantier, Lausanne 1952. — R. Peele, ed., Mining Engineers' Handbook, New York 1952. — K. Kegel, Lehrbuch des Braunkohlentagebaues, Halle/Saale 1953. — Г. Р. Езурин, Открытые горные работы, Москва, 1954. — F. C. Scheffauer, ed., The hopper dredge, its history, development and operation, Washington 1954. — H. L. Nichols, jr., Moving the earth; the workbook of excavation, Princeton 1955. — П. И. Кок, Экскаваторы, Москва 1955. — O. Walch, Baumaschinen und Baueinrichtungen, Berlin 1956. — Е. Ф. Шеихо, Открытие разработка полезных ископаемых, Москва 1957. — Н. А. Доманевский, Дноуглубление, Москва 1957. — N. Sobotnicki, Technologie der Bauproduktion, E. Tu., Lj. Tč. i J. Bj.

**BAKAR**, metal ružičasto-crvene boje, koji zahvaljujući svojim osobinama zauzima po raznovrsnosti upotrebe jedno od prvih mesta u nizu tehničkih metala. Posle srebra bakar je najbolji provodnik elektriciteta; stoga se preko 50% od ukupne proizvodnje bakra upotrebljava za izradu raznih provodničkih elemenata i uredaja u elektro-industriji. Visoka topotna provodljivost obezbeđuje mu široku primenu za izradu raznih izmenjivača toplotne — grejača i hladnjaka. Zbog svog lepog sjaja i otpornosti prema koroziji upotrebljava se i za izradu ukrasa i različitih predmeta za domaćinstvo.

Bakar spada među metale koji su čoveku poznati iz preistorijskih vremena; i neke od njegovih legura bile su poznate već u drevnoj prošlosti. Najstariji nadjeni bakreni predmeti izrađeni su pre ~ 6000 godina. Primenom ovog metala za izradu primitivnog oružja i oružja karakteriše čitavu jednu epohu — bakarno doba. Meki metal je oko ← 3000 ustupio mesto tvrdoj leguri, bronzi. Pronalazak bronze potisnuo je brzo kamen iz upotrebe kao materijal za izradu oružja i oružja; nastupilo je bronzano doba, koje je — strogo uvezlo — svršilo tek u Srednjem veku.

Najstariji poznati rudnici bakra su bili na Sinaju (u Egiptu), na Kipru (odatle bakru latinski ime cuprum — aes cyprium), u Palestini, na Kavkazu, na Karpatima, u Maloj Aziji i u Španiji. U Kini, Japanu i Severnoj Aziji bakar takođe potiče iz davnih vremena, a isto tako u Severnoj i Južnoj Americi. Sudeći po arheološkim nalazima, u našoj se zemlji kopala bakrena ruda već u preistorijsko vreme u istočnoj Srbiji i srednjem Bosni.

U Novom veku dovode krupna otkrića u nauci i tehniči, pored ostalog, i do naglog porasta proizvodnje i primene bakra. Pronalaskom dinamo-mašine (1870) i motora naizmjenične struje (1887) otpočela je nova era u elektrotehnici, a time i u primeni bakra u industriji. Električna energija u obliku izmenične struje počinje se prenositi bakarnim provodnicima na daljinu od stotinu i više kilometara i razvodići po prostranim oblastima. Od tada elektroindustrija postaje glavni potrošač čistog bakra.

Posebno rneto u industriji imaju brojne bakarne legure, koje su izvanredno proširele primenu bakra.

**Fizičke i hemijske osobine.** Bakar se nalazi u prvoj grupi periodnog sistema elemenata, sa rednim brojem 29. Postoje dva izotopa bakra —  $^{63}\text{Cu}$  i  $^{65}\text{Cu}$ . Atomska težina bakra iznosi 63,57, a relativna gustoća  $d_4^{20}$  je 8,92. Čist bakar se topi na temperaturi od 1083°C, a tačka ključanja mu iznosi 2310°C. Topotna provodljivost bakra iznosi 332 kcal/m h °K; topotna topljenja 50,5 kcal/kg a specifična topota 0,092 cal/g °K. Specifični otpor

hemijski čistog bakra je  $0,017 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ; elektrohemski ekvivalent  $n_{\text{Cu}}^{+} = 2,3729 \text{ g/Ah}$ ,  $n_{\text{Cu}}^{2+} = 1,1864 \text{ g/Ah}$ . Normalni potencijal bakra je  $\text{Cu}/\text{Cu}^{+} = + 0,522$  a  $\text{Cu}/\text{Cu}^{2+} = + 0,345 \text{ V}$ .

Bakar kristališe teseralno, nije polimorf. Čist metal je veoma žilav, može se lako kovati i valjati u hladnom i vrućem stanju. Upoređen sa drugim obojenim metalima (cinkom, olovom, kalcijem), bakar je mnogo čvršći. Jačina na kidanje livenog bakra iznosi 14–19 kp/mm<sup>2</sup>, a valjanog i otpuštenog 20–28 kp/mm<sup>2</sup>. Hladnom obradom čvrstoča mu se može udvostručiti. Prisustvo raznih nečistoća u bakru znatno menja njegove osobine. Nečistoće u bakru se nalaze u vidu čvrstih rastvora (Fe, Ni, As, Sb, P) ili su nerastvorene (Bi, Pb, Se, Te, S). Nerastvorljive primeze, naročito S, Se i Te, utiču pretežno štetno na mehaničke osobine. Rastvorene primeze, a naročito arsen, antimон i gvožđe, povećavaju električni otpor i tvrdinu bakra.

Bakar se može meko i tvrdo lemiti i zavarivati. Zbog visoke topotne provodljivosti ne može se autogeno seći.

Tečan bakar je svetlozelen. Ima osobinu da upija gasove (kao što su  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  i dr.), od kojih najveći značaj imaju  $\text{O}_2$  i  $\text{H}_2$ . Kiseonik je u bakru prisutan samo u vidu  $\text{Cu}_2\text{O}$ . U metalnom bakru  $\text{Cu}_2\text{O}$  je do 13,5% (1,5% O) potpuno rastvorljiv a iznad ovog sadržaja nastaje raslojavanje. Rastvorljivost kiseonika u čvrstom bakru je praktično jednak nuli. Prisustvo kiseonika do 0,05% ne utiče štetno na osobine bakra, a na neke čak i korisno. Vodonik je rastvorljiv u bakru u tečnom i čvrstom stanju, i to utoliko više što je temperatura bakra viša. Od svih gasova on ima najbolju difuzivnu moć. Sa prisutnim  $\text{Cu}_2\text{O}$  u bakru vodonik reaguje prema reakciji:  $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 = 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ . Oslobođena vodena para odlazi iz rastopa kao nerastvorljiva. Kada površina bakra očvrsne, razvijanje vodenе pare izaziva na metalu prskotine i supljine, što se naziva »vodonična bolest«.

Stoji li bakar duže vremena izložen uticaju atmosfere, prevlači se lepom zelenom prevlakom baznog karbonata, tzv. patinom, koja štiti bakar od daljeg razaranja. Ta se patina često i veštacki proizvodi na raznim umetničkim predmetima, i to na više načina, po kojima se dobijaju različite nijanse.

Iznad 400°C bakar se brzo oksidiše, ali se lako i redukuje, npr. u struji vodonika. Ova osobina se iskorišćuje za prečišćavanje vodonika od kiseonika, koji je u njemu prisutan kao nečistoća.

Bakar se dobro rastvara u azotnoj kiselini, carskoj vodi, a pri zagrevanju i u koncentrovanoj sumpornoj kiselini.

**Sirovine.** Bakar se praktično dobija samo iz ruda bakra. Vrlo mala količina bakra se dobija iz olovnog kamena pri proizvodnji olova; i iz ruda nikla se retko dobija bakar, ali se ponekad ove rude prerađuju u leguru bakar-nikl (*monel-metal*).

U prirodi se bakar nalazi u vidu hemijskih jedinjenja (minerala) i samorodnog metalnog bakra. Bakar gradi do 240 minerala, od kojih samo nekoliko imaju industrijski značaj, stvarajući ležišta bakarnih ruda. Bakarne rude se dele u: sulfidne rude, koje sačinjavaju minerali: halkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), kovelin ( $\text{CuS}$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), halkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), enargit ( $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$ ); oksidne rude sa mineralima: kuprit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), tenorit ( $\text{CuO}$ ); karbonatne rude sa mineralima: malahit ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), azurit ( $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ); sulfatne rude sa mineralima: halkantit ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), brohantit ( $2\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ); silikatne rude hrizokol ( $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) i samorodni bakar ( $\text{Cu}$ ).

U rudištu je raspored minerala približno sledeći: u gornjem, raspadnutom delu nalaze se oksidne rude i samorodan bakar, ispod ove zone nalazi se zona sekundarnog obogaćivanja sulfidima halkozinom, kovelinom i bornitom, a u najdubljem delu rudišta nalazi se primarna ruda sa halkopiritom, enargitom i bornitom. Pored nabrojanih minerala, u bakarnim rudama ima minerala u kojima je bakar kompleksno vezan sa antimonom, arsenom, srebrom, niklom, cinkom i olovom. Ovakve rude se nazivaju kompleksne ili polimetalne. U malim količinama bakarne rude sadrže zlato, selen, telur, molibden, platinu i kalaj. Neki od ovih elemenata se dobijaju bilo u procesu obogaćivanja bilo priklom rafinacije bakra. Nekorisni minerali u bakarnim rudama (jalovina) su kiselis — silikatni, ili bazični — karbonatni.

Sadržaj bakra u rudama obično je nizak, ma da ima bogatih ruda sa 3–10% Cu. Najveća količina bakra se dobija iz ruda sa

0,5...2% Cu. Dobijanje bakra iz ovakvih ruda je rentabilno zahvaljujući efikasnim metodama obogaćivanja.

Obogaćivanje, tj. odvajanje jalovine od korisnih minerala rude, počinje već pri otkopavanju. Bogate bakarne rude se obično ne obogaćuju. Isto tako ne obogaćuju se ni siromašne oksidne rude, jer se one obično prerađuju hidrometalurškim (mokrim) postupkom. Siromašne sulfidne rude se danas obavezno obogaćuju postupkom flotacije. Ovim postupkom dobijaju se bakarni koncentrati sa 15...30% bakra (ponekad do 50%) uz iskorišćenje iznad 85%. Selektivna flotacija se primenjuje na rude koje pored bakarnih sadrže i druge korisne minerale (v. *Flotacija*).



Sl. 1. Površinski kop bakarne rude u rudniku Majdanpek

**Priprema sirovina.** Priprema ruda i koncentrata za topljenje ima odlučujući značaj za pravilan hod metalurških procesa. U prirodi se retko nalaze rude koje se mogu topiti bez dodavanja topitelja potrebnih za stvaranje odgovarajuće šljake. Prethodna priprema rude za topljenje sastoji se u pripremanju mešavine rude ili koncentrata s topiteljima; ova mešavina se naziva *šarža*. Iz rudnika se dobija ruda u komadima različitih veličina, ispod milimetra do nekoliko desetina santimetara, a gdekada i više od metra. Ovakav po krupnoći neravnomernan materijal se ne može mešati i tačno dozirati. Zbog toga se pri pripremanju šarže ruda i topitelji moraju prethodno *drobiti* i *klasirati* po veličini. Pri topljenju rude ili koncentrata u šahtnim pećima ne može se upotrebljavati materijal čija je veličina zrna manja od 10 mm. Zbog toga se takav materijal prethodno mora *aglomerirati* ili *briketirati*. Pri topljenju u plamenim pećima potreban je što sitniji materijal. U tom slučaju je potrebno rudu i topitelje ne samo drobiti nego i *mleti* na veličinu zrna 2...3 mm. Nekoje rude sa glinom i ilovačom sadrže mnogo higroskopske i konstitucione vlage pa ih pre topljenja treba *sušiti*; takođe se moraju sušiti i koncentrati, koji posle filtriranja sadrže 10...15% vlage, a nekad i više. Mnoge rude i koncentrati sadrže mnogo sumpora pri malom sadržaju bakra, pa se za dobijanje bogatog kamena moraju prethodno *pržiti*, a naročito pri topljenju u plamenim pećima.

Zbog svega napred iznetog rude i koncentrati se pre topljenja podvrgavaju prethodnoj mehaničkoj i hemijskoj pripremi. Mekanička priprema je drobljenje i klasiranje, sušenje, briketiranje, mešanje rude sa topiteljima i sastavljanje šarže. Hemijska priprema je prženje i aglomeriranje.

U zavisnosti od karaktera preradivog materijala, njegova mineraloškog sastava i dalje prerade rude, u metalurgiji bakra se primenjuje nekoliko načina prženja: kalciniranje, hlorirajuće prženje, sulfatizirajuće prženje, oksidirajuće prženje i aglomerirajuće prženje.

*Kalciniranje* primenjuje se za karbonatne rude i koncentrate radi odstranjivanja ugljendioksida i konstitucionih voda putem disocijacije pri zagrevanju. Karbonati bakra se već na temperaturi od 250°C raspadaju i izdvajaju se ugljendiosid i konstitucionu vodu. Kalciniranje se primenjuje radi smanjivanja težine prevoznog materijala (npr. malahit kalciniranjem izgubi oko 28% svoje težine) i kao prethodna operacija u hidrometalurgiji.

*Hlorirajuće prženje* provodi se da bi se prevela bakarna jedinjenja u bakarni hlorid  $CuCl_2$ , koji je rastvorljiv u vodi. Proces

prženja se vrši na temperaturi od 500...600 °C u oksidativnoj sredini. Kao sredstvo upotrebljava se kuhinjska so  $NaCl$ . Primjenjuje se za oksidne i sulfidne rude, a naročito pri hidrometalurškom dobijanju bakra iz bakronosnih piritnih izgoretina.

*Sulfatizirajuće prženje* primenjuje se za prevodenje bakarnih jedinjenja iz rude ili koncentrata u sulfat bakra rastvorljiv u vodi. Postupak se zasniva na sposobnosti bakarnih sulfida da pri oksidacionom prženju stvaraju sulfat, bakra na temperaturi nižoj od 650°C, na kojoj se sulfat gvožđa raspada. Ovo dopušta da se gvožđe prevede u nerastvorljiv oksid, a bakar se čuva u obliku rastvorljivog sulfata. Sulfatizirajuće prženje se primenjuje za sulfidne rude i koncentrate. To se prženje vrši na temperaturi stvaranja  $SO_3$ , tj. od 250 do 650°C.

*Oksidirajuće prženje* provodi se radi isterivanja suvišnoga sumpora iz sulfidnih ruda i koncentrata. Pri oksidirajućem prženju razlikuju se dva slučaja: 1) delimično prženje kada se ne odstranjuje sav sumpor nego jedan deo i 2) prženje »namrtvo« kada se iz rude i koncentrata želi isterati sav sumpor (praktično sumpora ostaje do 1,5%). Pri oksidirajućem prženju bakarni minerali se prevode u okside a delimično ostaju u obliku sulfida. Veći deo gvožđa prelazi u oksid, što olakšava njegovo prevodenje u šljaku i omogućava dobijanje bogatijeg bakrenca. Temperatura prženja dostiže 900°C.

*Aglomerirajuće prženje* primenjuje se radi pretvaranja sitnih ruda i koncentrata u komadasti materijal, da bi se mogao topiti u šahtnim pećima. Pri ovome prženju nije mogućno izbeći sagorevanje sumpora, što nije poželjno, jer sulfidi pri šahtnom topljenju služe kao gorivo. Ovo prženje razlikuje se od svih prethodnih po tome što se izvodi na temperaturi koja obezbeđuje delimično razmekšavanje materijala, zahvaljujući čemu se sitne čestice slepljuju i pretvaraju u porozni proizvod — aglomerat.

#### METALURGIJA BAKRA

Metalurgija obojenih metala uopšte, a metalurgija bakra posebno, odlikuje se time što na preradu dolazi materijal raznog hemijskog i mineraloškog sastava. Zbog toga se od metalurga zahteva velika pažnja pri izboru metode za preradu rude ili koncentrata, u zavisnosti od sadržine bakra u rudi, karaktera bakarnog minerala, sastava jalovine i cene goriva, radne snage, energije i pomoćnog materijala. Postoje tri načina: 1. *suhi* ili *pirometalurški*, 2. *mokri* ili *hidrometalurški* i 3. *elektrometalurški* način. Pri suhom načinu sva masa rude podvrgava se topljenju, pri čemu je potrošnja goriva velika i srazmerna količini pretopljenog materijala, nezavisno od sadržine bakra u njemu. Zato je ovaj način podesan za bogate i srednje bogate rude, a takođe za siromašne rude kada se one mogu prethodno obogaćivati. Ako se siromašne rude ne mogu da obogate zbog svoga sastava, dobijanje bakra iz takvih ruda vrši se mokrim načinom. Elektrometalurški način prerade ruda, odnosno koncentrata, primenjuje se vrlo retko, i to kada je električna energija jeftina. Elektroliza se inače primenjuje pri rafinaciji bakra, a u nekim slučajevima i za dobijanje bakra iz rastvora nastalog pri mokrom načinu prerade rude.

**Pirometalurško dobijanje bakra.** Ovim načinom se mogu preradivati rude samorodnog bakra i sulfidne rude. Izučavanje topljenja sulfidnih bakarnih ruda je najvažnije u metalurgiji bakra, jer se od celokupne proizvodnje bakra u svetu ~ 80% dobija iz sulfidnih ruda.

Krajnji cilj topljenja sulfidnih ruda sastoji se u tome da se po mogućnosti oslobole sav bakar i plemeniti metali koji se nalaze u rudi, a da se jalovina, uključivši i jedinjenja gvožđa, prevede u šljaku sa što manjim sadržajem bakra. Teorijski bi se to najjednostavnije postiglo prženjem sulfidnih ruda namrtvo (odstranjivanjem celokupnog sumpora), a zatim topljenjem u redukcionoj atmosferi, ali bi praktično to stvaralo vrlo velike teškoće. Sadržaj bakra i u bogatim sulfidnim rudama nije velik i retko prelazi 4...8%, a osim toga u njima ima i mnogih drugih metala. Zbog malog sadržaja bakra u rudi dobila bi se pri redukcionom topljenju prženih ruda velika količina šljake, koja bi vukla sa sobom mnogo bakra u obliku oksida, kao i mehanički pomešan metalni bakar, te bi gubici bakra bili veliki. Zbog nečistoće bakrenih ruda dobila bi se pri tome izvesna količina metalnog bakra sa gvožđem, arsenom, antimonom i drugim primesama, izredukovanim zajedno sa

bakrom. Tako dobiveni bakar predstavlja bi vrlo komplikovanu leguru, čija bi prerada u čisti bakar bila teška i skupa.

Radi izbegavanja navedenih teškoća, sulfidne rude se ne tope direktno na metalni bakar, nego se proizvodnja bakra vrši u dva stupnja: 1. topljenje sulfidnih ruda u bakrenac i 2. prerada bakrenca u bakar.

*Topljenje sulfidnih ruda u bakrenac.* Topljenjem sulfidnih ruda dobija se bakar u obliku smeše sulfida bakra sa sulfidom gvožđa ( $Cu_2S \cdot FeS$ ), a veliki deo jalovine prevodi se u šljaku siromašnu bakrom. Smeša sulfida bakra sa sulfidom gvožđa naziva se *bakrenac*.

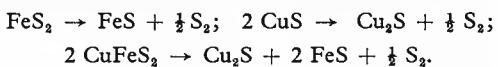
Koncentracija bakra u bakrencu bazira na sledećim činjenicama: od svih prisutnih teških metala, sa isključenjem mangana, bakar ima najveći afinitet prema sumporu. Zbog toga se bakar u prvom redu vezuje sa sumporom, nezavisno od toga u kakvom se jedinjenju nalazi u rudi. Pri tome se stvara sulfid bakra  $Cu_2S$ , koji je postojan na visokim temperaturama. Gvožđe pak ima veći afinitet prema kiseoniku nego bakar, lako se oksidiše i šljakuje sa kvarcom. Posle vezivanja cele količine bakra sa sumporom ostatak sumpora se spaja sa gvožđem stvarajući sulfid gvožđa  $FeS$ , koji je takođe postojan na visokim temperaturama. Jedinjenja  $Cu_2S$  i  $FeS$  se lako rastvaraju jedno u drugom u svim razmerama i stvaraju bakrenac, koji se gotovo ne rastvara u silikatnim šljakama. To, zajedno sa razlikom u specifičnim težinama, omogućava odvajanje rastopljenog bakrenca od šljake putem dekantacije.

Topljenje ruda u bakrenac može se vršiti u šahtnim ili plamenim pećima, te se prema tome razlikuju šahtni i plameni postupak.

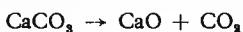
*Šahtni postupak.* Po tom postupku razvila su se uglavnom tri načina: nemački, piritni i polupiritni. *Nemački* (ili švedski) način sastoji se u prethodnom delimičnom oksidacionom prženju sulfidne rude, koja se potom topi sa većom količinom koksa i sa topiteljima. Koks služi kao gorivo i redukciono sredstvo. Po *piritnom* (ili američkom) načinu sirova sulfidna ruda se topi neposredno u šahtnoj peći bez goriva (koksa), u jako oksidativnoj atmosferi. Oksidacija sulfida i prevodenje oksida gvožđa ( $FeO$ ) u šljaku daje neophodno potrebnu toplotu za vođenje samog topljenja. Prženje i topljenje rude se vrši istovremeno i u istom agregatu. *Polupiritni način* u stvari je izmenjeno piritno topljenje i po njemu se sirova sulfidna ruda, u nedostatku metalurškog goriva u rudi (pirita), topi uz dodatak male količine koksa u šarži. Svojevremeno je najviše bio rasprostranjen nemački način, ali gde god je to dopuštao karakter rude, nemački način je zamenjivan piritnim, odnosno polupiritnim načinom. No kako se piritni način mogao da primeni samo na ograničenu kategoriju ruda sa malim procentom jalovine, polupiritni je način bio rasprostranjeniji.

Pri šahtnom topljenju osnovni proces se sastoji u uzajamnom delovanju šarže koja silazi kroz peć i vazduha koji se uduvava odozdo. Radi razmatranja promena koje se odigravaju u šahtnoj peći može se proces topljenja podeliti u nekoliko zona po visini peći.

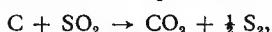
U prvoj zoni, koja počinje od vrha peći i dopire do oblasti temperaturu od  $700^{\circ}C$ , šarža se suši i vrši se disocijaciju sumpora iz pirita i bakrenih sulfida, prema reakcijama



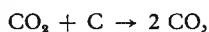
Druga zona se nalazi ispod prve, u temperaturnom intervalu od  $700$  do  $1000^{\circ}C$ . Ona se naziva zona likvacije sulfida. U ovoj zoni se vrši pečenje krečnjaka po reakciji



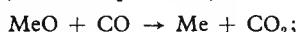
i sagorevanje koksa na račun sumpordioksida po reakciji



a zatim počinje topljenje sulfida koji padaju u treću zonu. Pri redukcionom topljenju u ovoj zoni se događaju i redukcioni procesi. Ugljenik iz koksa redukuje nastali ugljendioksid u ugljen-monoksid po reakciji



a taj vrši redukciju metala po reakciji



U ovoj zoni vrši se takođe redukcija sumpordioksida u sumpor i sulfidizacija metala pomoću sumpora po reakcijama

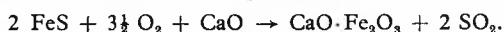
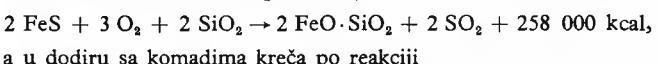


Kao sulfidizaciono sredstvo služi i sulfid gvožđa ( $FeS$ ):

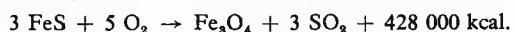


Treća zona počinje u pojasu temperatura od  $1000^{\circ}C$  i prostire se do iznad duvnica peći, gde temperatura iznosi od  $1400$  do  $1500^{\circ}C$ . To je zona najviših temperatura peći, gde se pri piritnom topljenju odigravaju osnovne reakcije. Ceo prostor treće zone ispunjen je usijanim komadima kvarca ( $SiO_2$ ) i kreča ( $CaO$ ), preko kojih se sliva u mlazovima smeša rastopljenih sulfida bakra i gvožđa. U smeši preovladava sulfid gvožđa. Pri susretu sulfida sa strujom vazduha dolazi do oksidacije sulfida gvožđa, koja sa drugim pratećim reakcijama daje potrebnu toplotu za topljenje.

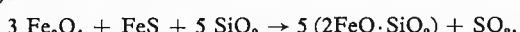
Oksidacija sulfida gvožđa u dodiru sa vazduhom i usijanim komadima kvarca vrši se po reakciji



Pri oksidaciji sulfida gvožđa u slobodnom padu (u odsutnosti kvarca i kreča) reakcija se odvija prema sledećoj jednačini:



Dobiveni oksid gvožđa delom se rastvara u šljaci i bakrencu, a delom ga sulfid gvožđa u prisustvu kvarca redukuje prema reakciji



Konačno, na mestima dodira kvarca i kreča stvara se silikat kalijuma prema reakciji



Silikat gvožđa ( $2FeO \cdot SiO_2$ ) je lako topljiv (t.t.  $\sim 1270^{\circ}C$ ) i cireći po kvarcno-krečnim komadima rastvara jalovinu i obrazuje šljaku.

Nesagoreli sulfidi gvožđa i bakra ( $FeS$  i  $Cu_2S$ ) stvaraju bakrenac; u njemu preovlađuje sulfid gvožđa, koji štiti sulfid bakra od oksidacije i šljakovanja. Pri redukcionom topljenju ova zona se karakteriše hemijskim reakcijama između čvrstih i rastopljenih materijala. Glavni reducent je ugljenik. Jedinjenja bakra (oksiđi, sulfati i silikati) sulfidišu se pomoću sulfida gvožđa i stvaraju bakrenac.

U ovoj zoni stvaraju se i legure metalnih arsenida i sulfida (»špajze«), koje se zajedno sa plemenitim metalima skupljaju u bakrencu. Temperatura topljenja bakrenca je srazmerno niska, od  $950$  do  $1000^{\circ}C$ .

Četvrta zona peći nalazi se ispod duvnica. U njoj se zbiraju i razdeljuju po specifičnoj težini produkti topljenja: najniže se talože »špajze«, zatim bakrenac, pa šljaka.

*Plameni postupak.* Uspesi obogaćivanja siromašnih ruda, uglavnom metodom flotiranja, potpuno su izmenili način dobijanja bakra. Donedavna preovladavao je šahtni postupak, u današnje se vreme veći deo proizvedenog bakra dobija plamenim postupkom. Ovakvom razvoju doprinela je nemogućnost da se u šahtnim pećima neposredno tope sitno izmleveni koncentrati dobiveni pri obogaćivanju ruda, a zatim usavršavanje plamenih peća. Osim toga, u šahtnim pećima može se topiti samo komadasta ruda i sa sadržajem bakra ne manjim od  $\sim 2\%$  Cu. Nalazišta bogatih ruda se brzo iscrpljuju i glavni značaj u rezervama bakarnih ruda dobijaju siromašne bakerne rude. Najekonomičniji put iskorišćavanja takvih ruda je obogaćivanje i prerada koncentrata plamenim postupkom.

Topljenje u plamenim pećima se odvija isključivo na račun toplote koja se dobija od sagorevanja goriva, ako se ne uzme u obzir mala količina topline koja se dobija pri odigravanju nekih hemijskih reakcija u samoj šarži. Topljenje u plamenoj peći se bitno razlikuje od topljenja u šahtnim pećima, jer se proces topljenja u šahtnim pećima izvodi na protivstrujnom principu — šarža se spušta ususret gasovima koji se dižu —, a u plamenoj peći šarža je nepokretna i gasovi prolaze iznad šarže. U šahtnoj peći gorivo je izmešano sa šaržom i sagorevanje se vrši u samoj masi

šarže, što omogućava bolju predaju toplote konvekcijom i zračenjem. U plamenim pećima sagorevanje goriva vrši se odvojeno od šarže u specijalnim gorenicima i produkti sagorevanja dodiruju nepokretnu šaržu samo po površini. Zbog toga se predavanje toplote vrši pod nepovoljnijim uslovima.

Osnovni materijal za preradivanje u plamenim pećima je koncentrat. Osim koncentrata, u plamenim pećima se preraduje kao dodatni materijal: sitnina od ruda, prašina šahtnih peći, prezenac, zlatonosna ruda, konvertorska šljaka u tekućem stanju, granulirani bakarni otpaci tude proizvodnje, razni otpaci vlastite proizvodnje i topitelji. Koncentrati i rudna sitnina mogu biti sulfidni i oksidni; ovi i drugi materijali mogu ulaziti u topljenje u sirovom stanju ili posle prženja. Izuzetno se tako tope i koncentrati samorodnog i cementnog bakra. Za navedene materijale topljenje šarže se ne može vršiti jednak u svim slučajevima.

Materijal koji se topi u plamenim pećima može se prema karakteru topljenja i hemijskim reakcijama koje se zbivaju u pećima podeliti u tri vrste, i u zavisnosti od toga postoje tri načina topljenja u plamenim pećima: topljenje sirovog sulfidnog materijala, pri čemu je osnovni proces likvacija sulfida, zbog čega se takvo topljenje može nazvati *likvaciono* sa šljakovanjem jalovine; topljenje prezenog materijala ili mešavine sirovog sulfidnog materijala sa oksidnim rudama i koncentratima, pri čemu je osnovni proces reakcija između sulfida i oksida, te se takvo topljenje može nazvati *reakciono-redukcione topljenje* oksidnih ruda i njihovih koncentrata i koncentrata samorodnog bakra, pri kojemu se u plamenim pećima ne dobija bakrenac nego metalni bakar. U šaržu je potrebno dodavati ugljenu sitninu ili prašinu, da se redukuju bakarni oksidi i one mogući njihov prelaz u šljaku. Ovo topljenje se naziva i likvaciono sa odstranjivanjem jalovine.

Savremene plamene peći lože se naftom, mazutom, ugljenim prahom i prirodnim gasom. Odlazni gasovi u plamenim pećima imaju temperaturu  $\sim 1200^{\circ}\text{C}$  i nose velike količine toplote — više od 50% toplote dobivene od goriva. Ova se toplota iskoristiće pod parnim kotlovima koji sa plamenim pećima sačivanjaju konstruktivnu celinu.

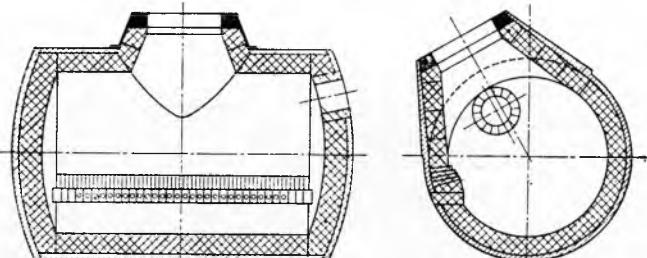
Plamene peći mogu se zagrevati i električnom energijom, ali je to vrlo retko. Takve peći umesto goreonika imaju u svodu ugljene elektrode koje su uronjene u šaržu.

**Lebdeće topljenje koncentrata** datira od 1931, kada su izvršena obimna praktična ispitivanja u topionici bakra Anaconda u USA. Ispitivanja su se sastojala u lebdećem prženju bakarnog koncentrata i spajajući pržne komore sa plamenom peći, radi potpunog iskoristićenja latentne topline iz prženca i postizavanja što većeg učinka topljenja u plamenoj peći uz istovremeno sniženje potrošnje goriva. Ova uspešna ispitivanja nisu tada prešla okvir poluindustrijskog rada, ali su njihovi rezultati bili vrlo zanimljivi. Studiranje ovog problema razvijalo se dalje u dva pravca. Prvi pravac je prihvatio koncepciju da se lebdeće prženje i topljenje koncentrata vrši u jednoj šahti postavljenoj iznad plamene peći, sa kojom čini jednu celinu. Ova koncepcija je bila osnova za razvijanje postupka koji je danas poznat pod imenom *autogeni postupak* za topljenje bakarnih koncentrata. Drugi pravac je smatrao da lebdeće topljenje bakarnih koncentrata treba vršiti neposredno u plamenoj peći upotrebljavajući kiseonik ili kiseonikom obogaćeni vazduh. Na osnovu ove koncepcije razvio se postupak pod imenom *lebdeće topljenje kiseonikom* (oxygen flash smelting). Po prvom postupku radi jedna topionica bakra u Finskoj, a po drugom jedna topionica u Kanadi.

**Prerada bakrena u bakar.** Pri topljenju u šahtnim ili plamenim pećima dobija se bakrenac koji sadrži od 13 do 78% bakra. Prerada bakrena u bakar može da se vrši na tri načina. To su: 1. nemački način ili prženje sa redupcionim topljenjem, 2. engleski način ili prženje sa reakcionim topljenjem i 3. besemerovanje, pri kojemu se kroz rastopljeni bakrenac prođe vazduh i reakcionim topljenjem proizvodi bakar. Prva dva načina imaju u današnje vreme samo istorijski značaj. U savremenoj praksi primenjuje se isključivo besemerovanje.

Pri besemerovanju se iskoristiće ideja reakcionog topljenja, što je osnova i engleskog načina prerade bakrena. Bakrenac se u rastopljenom stanju sipa u konvertor (sl. 2) i u prisustvu kvarca prođe vazduh. Pri tome se sulfid gvožđa brzo oksidiše i postali oksid gvožđa se rastvara u bakrencu, stvarajući sa kvar-

com šljaku. Ovaj deo proizvodnje naziva se prvi period besemerovanja. Kada se sve gvožđe oksidiše i prevede u šljaku, i bakrenac pređe u čisti sulfid bakra ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), zvani *beli bakrenac*, šljaka se odlije i prođe u metalno stanje. Ovaj deo procesa naziva se drugi period besemerovanja.



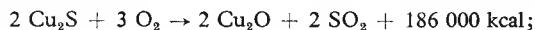
Sl. 2. Konvertor za besemerovanje bakrenca

Prvi period besemerovanja vrši se po dvema reakcijama koje su već navedene kad je bilo govora o oksidaciji sulfida u trećoj zoni šahtne peći. Tome treba dodati još i reakciju



koja pokazuje da do oksidacije bakra ne može doći dok u šarži ima  $\text{FeS}$ .

Drugi period besemerovanja može se predstaviti ovim reakcijama:



Od četiri navedene glavne reakcije na kojima počiva besemerovanje bakrenca, dve su visoko egzotermne (oslobadaju toplotu), što omogućava da se proces odvija bez dodavanja goriva.

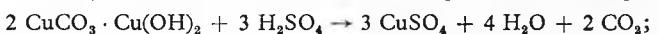
Proizvodi besemerovanja su sirovi bakar, šljaka (koja se zbog srazmerno visokog sadržaja bakra ponovo topi u šahtnim ili plamenim pećima) i gasovi. Sirovi bakar je poznat u literaturi pod imenom *crni bakar* i *blister-bakar*.

**Hidrometalurško dobijanje.** Kao i mnogi drugi obojeni metali, i bakar se može dobiti ne samo pirometalurškim (suvim) nego i hidrometalurškim (mokrim) načinom. Postupak se sastoji u tretiranju prethodno usitnjene rude nekim pogodnim rastvorom sredstvom, da bi se bakar preveo u rastvor. Iz rastvora se bakar izdvaja elektrolizom ili cementacijom kao metal, ili nekim drugim postupkom u vidu bakarnih jedinjenja. Cementacija bakra iz rudničkih voda takođe spada u hidrometalurški način dobijanja tog metala.

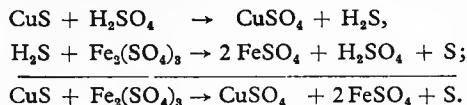
Mada je poznato da se bakar hidrometalurškim načinom dobija još u najstarije doba, ipak ovaj način učestvuje znatnije u celokupnoj svetskoj proizvodnji tek u poslednjem stoljeću, kada su za dobijanje bakra počele da se iskorističuju i siromašne oksidne rude. Danas se otprilike jedna petina ukupne proizvodnje bakra dobija hidrometalurškim postupkom.

Od svih prirodnih jedinjenja bakra samo je mineral halkantit  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dobro rastvorljiv u vodi. Da bi se bakar i iz nerastvorljivih ruda mogao prevesti u voden rastvor, one se pretrođeno prže i tretiraju pogodnim sredstvima. Bakar se prevodi u rastvor obično kao sulfat ili kompleksna amonijačna so, a redje kao hlorid. Postupak zasnovan na prevodenju minerala bakra u sulfat naziva se *sulfatnim*, a kao reagent služi rastvor sumporne kiseline i ferisulfata. Postupak po kome se obrazuju kompleksne soli naziva se *amonijačnim*, a kao reagent služi rastvor amonijaka i amonijumkarbonata.

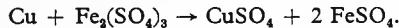
**Sulfatni postupak** prerade bakarnih ruda se zasniva na tome što rastvor sumporne kiseline u vodi reaguje sa karbonatima i oksidima dvovalentnog bakra:



Sulfidi bakra sporo reaguju sa slabim rastvorom sumporne kiseline; ta se reakcija ubrzava u prisustvu oksidanta, za što se obično upotrebljava ferisulfat:



Samorodni bakar takođe sporo reaguje samo sa sumpornom kiselinom, ali ga ferisulfat uspešno prevodi u rastvor:



Kuprooksid se pomoću sumporne kiseline prevodi samo delimično u rastvor, jer se jedan atom bakra izdvaja kao elementaran:



Smeša sumporne kiseline i ferisulfata prevodi kuprooksid potpuno u rastvor.

Sulfidni minerali bakra — halkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), halkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) i bornit ( $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$ ) — mogu se prevesti u sulfat time da na njih deluje smeša sumporne kiseline i ferisulfata. Međutim, ako se sulfidne bakarne rude žele da preraduju hidrometalurški, one se obično prethodno podvrgnu sulfatizirajućem prženju, pa onda luže razblaženom sumpornom kiselinom.

Zadatak je operacije luženja da se bakar što selektivnije i potpunije prevede iz rude u rastvor, a da pri tome minerali jalovine zaostanu u nerastvorenem ostatku. Posle luženja rastvor sadrži pored bakra i viška rastvarača [ $\text{H}_2\text{SO}_4$  i  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ] takođe i primese drugih metala iz rude. Rastvor se odvaja od nerastvorenog ostatka taloženjem — dekantranjem — ili filtriranjem.

Brzina luženja bakra zavisi od brzina difuzije reagenata kroz rudne čestice. Što je ruda sitnije samlevena to je manje vremena potrebno za prevodenje bakra iz rude u rastvor. Rude sa kompaktom strukturom u kojima su minerali fino primešani moraju se sitnije mleti nego rastresite i porozne rude. Zato usitnjavanje rude — vrlo skupu operaciju — treba izabrati putem prethodnog ispitivanja na samoj rudi koja se preraduje.

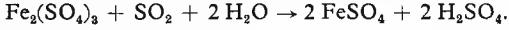
Mešanjem rastvora ubrzava se luženje, jer to potpomaže izmenu materija u porama komada rude. Način mešanja se izabira u zavisnosti od krušnoće rude koja treba da se luži. Za krušnije frakcije (do 10 mm) luženje se izvodi propuštanjem rastvora kroz nepokretan sloj rude (perkolacijom). Rastvor se na svom putu obočuje bakrom, dok se druge primese vrlo malo rastvaraju. Za sitnije frakcije taj postupak je nepogodan jer se stvara gust sloj materijala kroz koji rastvor teško prodire. Zato se sitno samlevene rude luže u pulpi, u kojoj se rudne čestice neprekidnim mešanjem održavaju u lebdećem stanju. To mešanje se može izvesti mehaničkim pokretanjem pulpe (agitacijom) ili propuštanjem vazduha kroz nju (aeracijom). Kada zbog prirode rude nije potrebno sitno mlevenje, perkolaciono luženje je jefтинije i dobijeni rastvor manje je zaprljan drugim primesama.

Iz rastvora dobijenog posle luženja bakar se najčešće izdvaja elektrolizom, pri čemu kao nerastvorljive anode služe olovne ploče, a kao katode tanki listovi čistog bakra.

U toku elektrolize na katodi se pored izdvajanja bakra vrši i redukcija feri-jona do fero-jona, usled čega pri većem sadržaju viška ferisulfata u rastvoru iskoršćenje struje znatno opada. Da bi se izbegao nepotreban utrošak struje za redukciju trovalentnog gvožđa, rastvor se pre elektrolize prečišćava od gvožđa ili se feri-joni samo redukuju do fero-jona, provođenjem gasa  $\text{SO}_2$  kroz rastvor.

Za prečišćavanje rastvora od gvožđa višak sumporne kiseline u njemu se neutrališe dodatkom sveže sitno samlevene rude. Sa sniženjem kiselosti ferisulfat podleže hidrolizi uz obrazovanje slabo rastvorljivog bazičnog sulfata promenljivog sastava.

Redukcija ferisulfata sumpordioksidom teče po reakciji



Prednost je ovog načina redukcije što se istovremeno povećava koncentracija sumporne kiseline u rastvoru. Sama operacija redukcije sumpordioksidom izvodi se u specijalnim tornjevima, u kojima rastvor pada odozgo, a sumpordioksid strui odozdo njemu u susret.

Elektrolizom se ne teži da se izvrši potpuno izdvajanje bakra z rastvora, već samo do određene koncentracije, jer elektroliza

siromašnih rastvora teče sa malim iskoršćenjem električne energije. Potpuno izdvajanje bakra još je više otežano ako je rastvor jače onečišćen gvožđem.

Rastvor koji se ispusta iz kada za elektrolizu posle postizanja određenog stepena izdvajanja bakra naziva se osiromašen rastvor. On sadrži slobodnu sumpornu kiselinu koja se obrazuje pri elektrolizi, pa se može ponovo iskoristiti za luženje bakra iz rude. Cirkulišući tako, on se sve više onečišćava primesama. Zato se povremeno jedan deo rastvora odvaja iz cirkulacije i zamenjuje sumpornom kiselinom. Odvojeni rastvor se propušta prvo kroz regenerativne kace radi taloženja bakra, zatim se u istom cilju propušta kroz cementaciju i izbacuje kao otpadni rastvor.

Elektroliza kao način izdvajanja bakra iz rastvora ima nad cementacijom prednost što je izdvojeni bakar daleko čistiji, a rastvor posle izdvajanja bakra zbog sadržaja slobodne sumporne kiseline pogodan za ponovno luženje. Međutim, za siromašnije rastvore se češće primenjuje cementacija jer je jeftinija.

Suština postupka *cementacije* sastoji se u reakciji metalnog gvožđa sa rastvorom bakar-sulfata. Gvožđe se kao elektronagativniji metal oksidiše i prelazi u rastvor, a istovremeno bakar se redukuje i kao metal taloži iz rastvora:

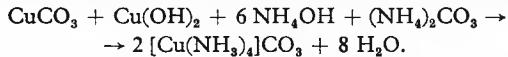


Cementacioni bakar se posle odvajanja od otpadnog rastvora samo pretapa ili još preraduje pirometalurški, što zavisi od njegove čistoće.

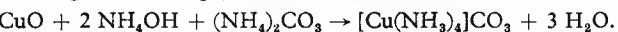
U nekim slučajevima se hidrometalurško tretiranje bakarnih ruda primenjuje kao metoda pripreme za flotiranje. Pri istovremenom prisustvu oksidnih i sulfidnih minerala bakra u rudi, primenom sumporne kiseline i ferisulfata za luženje ne postiže se zadovoljavajuće rastvaranje bakra, a plemeniti metali, kada su prisutni u rudi, zaostaju u jalovini — nerastvorenem ostatku. U tom slučaju se ruda tretira samo sumpornom kiselinom i oksidni bakar prevodi u rastvor. Bez prethodnog odvajanja rastvora od nerastvorenog ostatka, bakar se taloži cementacijom sa gvožđem, te cementacioni bakar pada i meša se sa nerastvorenim ostatkom. Posle odvajanja rastvora mulj se podvrgava flotiranju, pri čemu se izdvajaju sulfidni minerali bakra, metalni bakar i plemeniti metali kao koncentrat, koji se onda preraduje pirometalurškim postupkom.

*Amonijačni postupak* se zasniva na sposobnosti nekih minerala bakra da reaguju sa vodenim rastvorima amonijaka i amonijumkarbonata uz obrazovanje u vodi lako rastvorljivih kompleksnih bakarno-amonijačnih soli. Primenjuje se za preradu siromašnijih ruda koje sadrže samorodni bakar, a takođe i za preradu oksidnih bakarnih ruda kada ove sadrže znatnu količinu nekorisnih komponenata rastvorljivih u sumpornoj kiselinii.

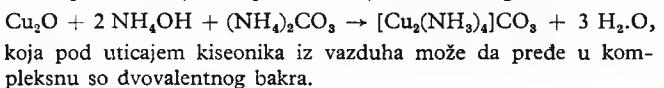
Karbonati bakra, prisutni u rudama kao malahit i azurit, reaguju sa amonijakom i amonijumkarbonatom po jednačini



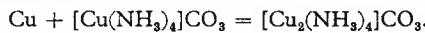
Na analogan način reaguje i mineral malakonit:



Kuprit obrazuje kompleksnu so jednovalentnog bakra:

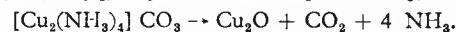
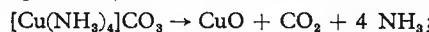


Samorodni bakar reaguje sa kupriamonijačnim kompleksom i prelazi u rastvor po jednačini



Sulfidi bakra ne reaguju sa rastvorima amonijaka i amonijumkarbonata, pa se sulfidne rude ne preraduju amonijačnim postupkom.

Luženje bakra amonijačnim rastvorom izvodi se metodom perkolacije u gvozdenim posudama koje se hermetički zatvaraju. Iz dobijenog rastvora bakar se izdvaja u vidu kupro- ili kuprioksida. Kompleksne amonijačno-bakarne soli se razlažu pri zagrevanju njihovih rastvora pregrejanom vodenom parom na preko  $80^\circ\text{C}$  po reakcijama



Pošto su se izdvojili iz rastvora,  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$  se apsorbuju u vodi i ponovo iskoristišu za tretiranje rude. Talog bakar-oksida se šalje na redukujuće topljenje. Negativne strane amonijačnog postupka su: neophodnost potpune hermetičnosti aparature i veća cena koštanja prerade rude.

Pored iznetih postupaka, za luženje bakarnih ruda može se upotrebiti i sona kiselina kao i ferisulfat, ali njihova primena nema veći industrijski značaj.

Izbor postupka za preradu neke bakarne rude zavisi prvenstveno od njenog hemijskog i mineraloškog sastava, a zatim i od niza lokalnih činilaca. Hidrometalurški postupci se primenjuju obično za preradu siromašnih oksidnih ruda, najčešće bez prethodne pripreme. Za hidrometaluršku preradu sulfidnih minerala bakra potrebno je prethodno sulfatizirajuće, oksidirajuće ili hlorirajuće prženje.

Važnija postrojenja za hidrometaluršku preradu bakarnih ruda u svetu jesu Chuquicamata u Čileu (Chile Exploration Co); Panda u bivšem Belgijском Kongu (Union Minière du Haut Katanga); Potreilos u Čileu (Andes Copper Mining Co); Konncott, Aljaska u USA (Konnecott Copper Corp.); Rio Tinto u Španiji (Rio Tinto Co); Duisburg u Nemačkoj (Duisburger Kupferhütte A. G.), iskoristišu piritne ogoretine za izvlačenje bakra) i dr.

**Rafinacija bakra.** Sirovi bakar (crni ili blister) sadrži kao primeće pored Fe, Ni, S, Zn, Sb i As takođe i Bi, Sn, Pb, Se, Te, Au, Ag i rastvorene gasove, koji takođe znatno pogoršavaju mehanička svojstva bakra, naročito njegovu plastičnost. Sve primeće, isključujući plemenite metale, umanjuju električnu provodljivost bakra.

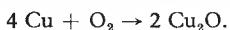
U sirovom bakru se često nalazi do 100 g/t Au i do 1000 g/t Ag. Plemeniti metali predstavljaju znatnu vrednost i potrebljivo ih je izdvojiti iz bakra pri njegovoj rafinaciji.

Poznata su dva postupka za rafinaciju bakra — *plamena* i *elektrolitička rafinacija*.

Postupkom plamene rafinacije može se dobiti bakar dosta velike čistoće, ali se njime ne postiže odvajanje bizmuta i plemenitih metala. Postupkom elektrolitičke rafinacije dobija se bakar velike čistoće i izvlače se plemeniti metali. Elektrolitička rafinacija je složeniji i skuplji proces od plamene, ali se zato troškovi elektrolitičke rafinacije u znatnoj meri kompenzuju vrednošću dobijenih plemenitih metala. U novije vreme se zbog zahteva za većom čistoćom metala skoro sva proizvedena količina bakra rafiniše elektrolitički. Kvalitet rafinisanog bakra raste a troškovi prerade opadaju ako se osnovna masa primeće prethodno odstrani plamenom rafinacijom. Zato elektrolitičkoj rafinaciji skoro redovito prethodi plamena.

*Plamena rafinacija.* Peći za plamenu rafinaciju bakra su slične plamenim pećima za topljenje bakarnih koncentrata na bakrenac. Peći se greju mazutom, prirodnim gasom ili ugljenim prahom. Osnovni zahtev koji se postavlja gorivu jeste što niži sadržaj sumporu, kako  $\text{SO}_2$  iz pećnih gasova ne bi zaprljao bakar sumporom.

Plamena rafinacija bakra je periodičan (diskontinuan) proces. Dužina trajanja jednog ciklusa je 12...16 časova. Svaki se ciklus sastoji od sledećih uzastopnih operacija: topljenja, oksidacije primeće, odstranjenja rastvorenih gasova, dezoksidacije i izlivanja. Primeće se oksidišu vazduhom koji se uduvava kroz gvozdene cevi uronjene u rastopljeni bakar. Oksidacija se odvija na površini vazdušnih mehuševa koji isplivavaju iz tečnog metala. Oksidiše se bakar i sve primeće, osim plemenitih metala. Brzina oksidacije svakog od metala proporcionalna je njegovoj koncentraciji u rastopu, pa se zato najbrže oksidiše bakar po reakciji



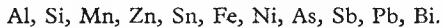
Oksid bakra se rastvara u rastopljenom bakru i zahvaljujući mешanju koje prouzrokuje uduvanje vazduha rastvoren oksid se rasprostire po čitavoj zapremini rastopa. Oksidacija primeće se odvija po reakciji opštег tipa:



Oksidi primeće isplivavaju na površinu rastopa obrazujući šljaku, koja se odavde uklanja i tako omogućuje proces rafinacije.

Na oksidacionu (plamenu) rafinaciju pozitivno utiče i sniženje koncentracije slobodnih oksida u šljaci njihovim vezivanjem u slabo disocičana jedinjenja. Time se objašnjavaju bolji rezultati rafinacije u pećima sa kiselim podom, jer  $\text{SiO}_2$  koji prelazi iz obloge spaja se sa oksidima u stabilne silikate.

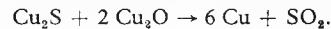
Redosled sagorevanja primeće objašnjava mogućnost njihove oksidacije ne samo oksidom bakra već i oksidima drugih primeće prisutnih u rastopu bakra. Približno tačan redosled oksidacije primeće smatra se da odgovara redosledu afiniteta tih elemenata prema kiseoniku, a on je sledeći:



U stvari sve primeće sagorevaju istovremeno, ali sa različitom brzinom, u zavisnosti ne samo od afiniteta prema kiseoniku već i od odnosa koncentracija, sposobnosti za obrazovanjem šljake, isparljivosti, brzine toka same reakcije oksidacije i od niza drugih faktora.

Plemeniti metali imaju manji afinitet prema kiseoniku nego bakar, pa se pri plamenoj rafinaciji ne oksidišu, a bizmut se odstranjuje u neznatnom stepenu.

Sumpor je prisutan u bakru u vidu rastvorljivog  $\text{Cu}_2\text{S}$  i odstranjuje se iz bakra po reakciji



Afinitet kiseonika prema selenu i teluru je manji nego prema sumporu, pa se pri plamenoj rafinaciji ovi praktično ne odstranjuju iz bakra.

Operacija odstranjenja gasova rastvorenih u bakru naziva se *polovanje na gustinu*. U rastopljeni metal, sa koga je skinuta šljaka, uroni se sirovo drvo (greda ili stablo); iz njega se burno razvija vodena para koja intenzivno meša tečni bakar i potpomaže izdvajanje  $\text{SO}_2$  i drugih gasova.

Pose perioda oksidacije bakar može da sadrži rastvorenih 10...12%  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Za dezoksidaciju ovoga služe produkti suve destilacije drveta — ugljovodonici, npr.



Rastopljeni se bakar pokriva slojem uglja i u njega uroni drveno stablo da duže vremena reaguje. Razvijeni gasovi suve destilacije drveta i gasoviti produkti redukcije  $\text{Cu}_2\text{O}$  izlaze na površinu tečnog bakra, mešajući ga pri tome intenzivno. Operacija dezoksidacije u procesu plamene rafinacije bakra naziva se *polovanje na krovost*.

Vreme trajanja rafinacije zavisi od veličine proizvodnje i izvedene mehanizacije. Kada se u peć za rafinaciju uliva tečan bakar, proizvodnja znatno raste — za samo topljenje troši se oko 30% ukupnog vremena rafinacije — a znatno se smanjuje i potrošnja goriva. Dezoksidacija bakra uduvavanjem u rastop drvenog uglja u prahu ili generatorskog gasa znatno skraćuje trajanje ove operacije. Kraj perioda oksidacije se određuje po izgledu preloma probe; slična proba služi i za određivanje kraja polovanja.

Šljaka se udaljava iz peći (kroz radni otvor) u vidu testaste mase. Gotov bakar se ispušta iz peći i lije u metalne (gvozdene ili bakarne) kalupe. Kada je posle plamene predvidena i elektrolitička rafinacija, kalupi za izlivanje bakra su izrađeni tako da odlivak dobije oblik najpogodniji za elektrolitičku rafinaciju, oblik anode.

Rafinaciona šljaka se pre operacije dezoksidacije brižljivo skuplja i uklanja sa površine rastopa. Ako se šljaka ne ukloni, oksidi primeće mogu pri sniženju sadržaja  $\text{Cu}_2\text{O}$  u rastopu (u toku dezoksidacije) da se delimično redukuju i ponovo vrate u bakar.

Šljaka iz rafinacionih peći sa kiselim oblogom sadrži 15...40%  $\text{SiO}_2$  i 5...10% Fe u vidu silikata i ferita, a takođe i okside cinka, kalika, nikla i drugih primeće. Šljaka sadrži obično 35...45% Cu, od čega se oko 4/5 nalazi u obliku oksida a ostatak kao metalni bakar. Šljaka iz peći sa baznom oblogom sadrži 50...75% Cu i obično ne više od 5...10%  $\text{SiO}_2$ . Količina šljake najčešće iznosi 2...3% od težine bakra. Šljaka se podvrgava redukujućem topljenju u malim šahtnim pećima ili preradi u konvertoru pri produvanju bakrena.

*Elektrolitička rafinacija.* U cilju elektrolitičke rafinacije stavlja se bakarne anode u kade sa rastvorom bakar-sulfata i sumporne kiseline. Paralelno anodama postavljaju se u kade tanki listovi od čistog bakra, koji se zovu *katodne osnove* (matični listovi). Anode se spajaju sa pozitivnim a katodne osnove sa negativnim polom izvora jednosmerne struje. Pri propuštanju struje anode

se rastvaraju, bakar prelazi u rastvor, a na katodnim osnovama joni bakra se razelektrišu, obrazujući sloj čistog metala.

Anoda ima debljinu 30...50 mm a težinu 200...350 kg. Kao katodne osnove služe tanki listovi od elektrolitnog bakra, dobijeni elektrolizom na glatkim bakarnim matricama u za to specijalno odvojenim kadarmi. Površina matrica se posle pažljivog čišćenja premazuje uljem da izdvojeni bakar ne bi čvrsto prionuo za matricu. Elektroliza teče neprekidno, matrice se posle jednodnevног stajanja u kadi vade i sa njih skida istaloženi sloj bakra. Na taj način dobijeni listovi imaju debljinu 0,5...0,7 mm.

Dimenzije katodnih osnova (matičnih listova) su za 30...55 mm veće od dimenzija odgovarajućih anoda. Na kraćoj strani katodnog lista pričvršćuju se bakarne žabice (uši), kroz koje se postavlja bakarna šipka radi vešanja katodne osnove u kadu i radi dovoda struje.

Kade za elektrolizu predstavljaju sanduke od drveta ili betona. Unutrašnja površina betonskih kada obložena je oblogom otpornom protiv kiseline, a unutrašnja površina drvenih kada polivinilskim listovima. U kadu se stavlja 20...40 anoda i za jedinicu više katoda. Anode i katode su postavljene paralelno jedne prema drugima. Dimenzije kada zavise od dimenzija i broja elektroda koje su u njih postavljene. Dužina jedne kade je obično 3,5...5 m, širina je za 12...13 cm veća od širine katoda a dubina 1...1,2 m.

Napon potreban za napajanje postrojenja određen je brojem na red vezanih kada. Za kompenzaciju pada napona u dovodnim vodovima, izračunata veličina napona uvećava se za 10...15%. U većini postrojenja ukupno potreban napon retko prelazi 500 V, pa se postrojenje za elektrolizu obično napaja motor-generatorom, koji za taj napon ima veći koeficijent korisnog dejstva od živinih ispravljača.

Potrebno mešanje elektrolita postiže se njegovom neprekidnom cirkulacijom kroz kade u rezervoar i natrag. Na tom putu se elektrolit i zagревa vodenom parom na 50...55°C.

Osnovni deo troškova proizvodnje pri elektrolitičkoj rafinaciji čini električna energija. Specifična potrošnja energije izražava se u kilovatčasovima na tonu katodnog bakra. Polazeći od Faradayjeva zakona može se izvesti izraz za specifičnu potrošnju električne energije (u kWh/t):

$$W = 0,843 \cdot 10^3 \frac{V}{K_t},$$

gde je  $K_t$  koeficijent iskorišćenja struje, tj. odnos teorijski potrebne i stvarno utrošene količine elektriciteta po toni bakra,  $V$  pad napona između elektroda, u voltima. 0,843 je recipročna vrednost elektrohemiskog ekvivalenta, u Ah/g ili kAh/kg.

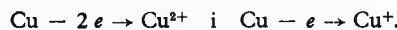
Iz datog izraza sledi da je potrošnja električne energije utolikom manja ukoliko je iskorišćenje struje veće i pad napona u kadi manji.

Napon na krajevima kade sastoji se od napona potrebnih za savladavanje omskog otpora i polarizacije. Razlika potencijala potrebna za rastvaranje bakra na anodi i njegovo taloženje na katodi zanemarljivo je malena i može se izostaviti iz računa, jer su obe elektrode od bakra pa su njihovi potencijali u jednom te istom elektrolitu praktično jednaki i suprotnog znaka. Zato se napon koji vlada na krajevima kade troši uglavnom na savladavanje omskog otpora elektrolita. Otpor elektrolita se smanjuje sa povećanjem koncentracije bakar-sulfata i sumporne kiseline, do granice određene njihovom zajedničkom rastvorljivošću u vodi. Sa povišenjem temperature opada otpor elektrolita.

Sastav elektrolita, izabran dugogodišnjom industrijskom praksom, varira u granicama od 30 do 40 g/l Cu i ~ 200 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Joni bakra prenose struju od anode ka katodi difuzijom. Brzina difuzije je mala i samo u nekim delovima može da se poveća mešanjem elektrolita. Pri većoj jačini struje veća brzina prelaza jona bakra u rastvor na anodama i njihovo razelektrisanje na katodama može da izazove i veću brzinu difuzije. Pri tome ipak koncentracija bakra u prianodnom sloju biva veća, a u prikatodnom sloju manja nego u ostaloj masi rastvora. Potencijal anode se onda povećava a potencijal katode smanjuje u upoređenju sa ravnotežom polaznog rastvora, pa se između elektroda pojavljuje razlika potencijala koja izaziva naknadni pad napona. Mešanje i zagrevanje elektrolita smanjuje tu polarizaciju. Sa povećanjem gustine struje znatno raste i pad napona usled omskog otpora elektrolita.

Pri rastvaranju anoda bakar prelazi u rastvor u vidu dvovalentnih i delimično u vidu jednovalentnih jona po shemi



Joni jednovalentnog bakra su u elektrolitu nestabilni i odmah se preobražavaju u dvovalentne:



pri čemu na dno kade isпадa talog elementarnog bakra.

Rastvaranje anode je moguće i hemijskim putem u prisustvu kiseonika iz vazduha:



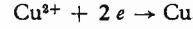
Primese nepllemenitijih (elektronegativnijih) metala od bakra — Zn, Ni, Pb, As, Sn, Sb i Bi — rastvaraju se u elektrolitu slično bakru. Primese pllemenitijih (elektropozitivnijih) metala — Au i Ag — a također i primese prisutne u anodi u vidu hemijskih jedinjenja sa sumporom, selenom i telurom, talože se na dno kade u vidu čvrstih čestica, obrazujući *anodni mulj*.

Oksid bakra se rastvara u sumpornoj kiselinici, uz izdvajanje bakra:



Pri rastvaranju anode joni olova obrazuju nerastvorni sulfat. Joni arsena, antimona, kalaja i bizmuta podležu hidrolizi, obrazujući arsensku, antimonsku i kalajnu kiselinu, a takođe i bazne sulfate kalaja i bizmuta. Sva se ova jedinjenja teško rastvaraju u elektrolitu i glavni njihov deo prelazi u mulj. Mulj se taloži na dno kade a delimično i zadržava na površini anoda, povećavajući omski otpor kade. Sitne lake čestice mulja dugo ostaju u lebdećem stanju u elektrolitu i obrazuju tzv. *plivajući* ili *lutajući mulj*. Sastav mulja zavisi od sastava anoda i drugih činilaca.

Bakar se taloži na katodi razelektrisanjem jona po shemi



Metalni joni prelaze iz anoda u rastvor zajedno sa bakrom — Zn, Ni, Fe i dr. — znatno su elektronegativniji od bakra pa se zato ne mogu da talože na katodi zajedno sa bakrom i koncentrišu se u rastvoru. Štaviše, i pri znatnom koncentrisanju (nagomilavanju) primesa u elektrolitu njihovi joni se ne izdvajaju na katodi. U praksi primećeno onečišćenje katodnog taloga primesama objašnjava se uklapanjem elektrolita i čestica lebdećeg mulja u kristalima bakra koji se izdvaja. Zato stepen onečišćenja taloga raste sa porastom koncentracije primesa u elektrolitu. Za sprečavanje ovoga, deo elektrolita se povremeno izdvaja iz ciklusa i zamjenjuje svežim rastvrom H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Rastvaranje anode traje obično 20...30 dana i zavisi od njihove debljine. Anodni ostaci, koji čine 15...20% od prvobitne težine, prepapaju se u nove anode. Katode se vade posle 10...15 dana. Do momenta vadenja svaka katoda treba da je teška 60...90 kg; duže zadržavanje katoda nije preporučljivo zbog čestih kratkih spojeva koje izaziva neravnometran rast taloga. Posle brižljivog ispiranja katode se šalju na pretapanje.

Jačina struje koja se propušta kroz čeliju za elektrolizu obično iznosi 10...15 kA, a napon na krajevima kade ~ 0,3 V. Gustina struje izabira se u zavisnosti od čistoće anoda i kreće se od 150 do 250 A/m<sup>2</sup>. Iskorišćenje struje u savremenim elektrolizama dostiže 98%. Potrošnja električne energije po tonu katodnog bakra iznosi 230...250 kWh/t.

**Legure.** Bakar i bakarne legure odlikuju se srednjom jačinom, a mogu se dobro liti i lako obradivati topлом i hladnom deformacijom, termičkim putem, kao i na automatima, te su pogodni za proizvodnju veoma važnih poluproizvoda kao što su limovi, trake, cevi, šipke, profili, žica, razni odlivci itd.

Obradom putem hladne deformacije, tj. hladnim valjanjem, vučenjem, kovanjem i dubokim izvlačenjem, ovi materijali postaju čvrsti i tvrdi, što se često baš i zahteva za kvalitet gotovih poluproizvoda. Međutim, ukoliko se želi dalje nastaviti obrada hladnom deformacijom, za to potrebna mekoća ovim legurama lako se može vratiti žarenjem, koje se praktično obavlja u intervalu temperaturu od 400 do 700°C. Termičkom obradom i hladnom deformacijom nekih bakrenih legura može se postići jačina na kidanje i tvrdoća već bliska jačini i tvrdoći alatnih čelika. Bakar i bakarne legure se skoro sve uspešno prerađuju u velikim količinama topлом deformacijom, tj. toplim valjanjem, presovanjem i kovanjem, pri čemu

se njihova obradljivost može u znatnoj meri popraviti dobrom kontrolom hemijskog sastava i čistoće materijala. Odlivci od bakra i bakarnih legura iskorističuju se već od prvih početaka civilizacije zbog svoje relativno jednostavne proizvodnje, kao i zbog dobrih tehničkih osobina.

Bakarne legure su prema tome važni tehnički materijali odličnih mehaničkih osobina, koji pored toga raspolažu visokom provodljivošću elektriciteta i toplotne i odličnom otpornošću prema koroziji i habanju. Podela ovih materijala vrši se najčešće prema njihovom hemijskom sastavu, i to na sledeće glavne grupe: tehnički bakar, bakar sa manjim dodacima, mesinzi, kalajne bronze, aluminijumske brone, legure bakra i nikla, legure bakra i silicijuma i legure bakra i mangana. U ovih osam grupa obuhvaćene su legure koje se uspešno primenjuju u elektrotehnici, hemijskoj industriji, mašinogradnji, građevinarstvu itd.

**Tehnički bakar.** Kao »bakar« označuje se prema ASTM materijal koji sadrži najmanje 99,5% Cu. Glavne vrste takvog bakra jesu: *katodni bakar*, koji se dobija elektroličkom rafinacijom anodnog bakra; *visokoprovodljivi elektrolički bakar* sa sadržajem kiseonika 0,02...0,05% (ETP-bakar — electrolytic tough-pitch copper), obično se dobiva pretapanjem katoda u blokove ili vajerbare, treba da sadržava najmanje 99,90% Cu + Ag; *visokoprovodljivi dezoksidisani bakar* (high-conductivity deoxidized copper) koji se dobiva vrlo pažljivom dezoksidacijom pomoću fosfora, koga ostaje u bakru uvek ispod 0,01%, što ne škodi njegovoj provodljivosti; *niskoprovodljivi dezoksidisani bakar* (low-conductivity deoxidized copper), čija je dezoksidacija izvršena sa nešto više fosfora, tako da je njegov sadržaj u bakru nešto veći, tj. od 0,03 do 0,04%, što znatno smanjuje njegovu provodljivost; *visokoprovodljivi bakar bez kiseonika* (OFHC-bakar, oxygen-free high-conductivity copper), koji nije dezoksidisan, jer se topi iz čistih katoda i kontinuirano lije u vajerbare pod naročitim uslovima koji u potpunosti sprečavaju apsorpciju kiseonika; ovo je uopšte najčišći konstrukcioni metal koji se danas industrijski iskorističuje, ima elektroprednjost i do 59,3 megasimensa po metru, izvanredno je rastezljiv i može se grejati u reduktivnoj atmosferi a da ne postane porozan i krt; *arsen-bakar* koji sadržava 0,15...0,50 As. Sve ove vrste bakra imaju skoro iste mehaničke osobine izuzevši vrste koje sadrže arsena (njihova je jačina na kidanje nešto viša) i vrste bez kiseonika, koje se lakše obradjuju deformacijom nego ostale. Visokoprovodljive vrste odžarenog bakra imaju elektroprednjost najmanje  $58 \cdot 10^6$  simensa po metru ili 100 IACS (International Annealed Copper Standard); OFHC-bakar ima prednjost i do 102 IACS, ali nakon većih redukcija pri hladnoj deformaciji elektroprednjost može da opadne i na 97 IACS. Kiseonik u obliku bakarnog oksidula ima sasvim neznatan uticaj na elektroprednjost bakra, ali je sve ostale primene (osim Ag, Cd, Pb i Zn) naglo snižavaju. Bakar je i odličan konstrukcionalni materijal za razna postrojenja, moderne instalacije i cevovode u hemijskoj industriji, jer se lako obraduje i zavaruje, ima izvanrednu toplotnu prednjost ( $0,92 \text{ cal/cm sek } ^\circ\text{K}$ ), a pored toga veoma je otporan prema većini hemikalija. Bakar sa kiseonikom ne sme se upotrebljavati na mestima gde vlada viša temperatura (iznad  $500^\circ\text{C}$ ) i reduktivna vodonična atmosfera, jer se pod tim uslovima u takvom materijalu redukcijom oksida stvara vodena para, pa se pojavljuje štetna poroznost, tzv. »vodonična bolest«, koja ga čini neupotrebljivim. Do ove pojave u praksi može doći pri zavarivanju bakra gasom ili pri svetlom žarenju bakra u zaštitnoj atmosferi koja sadrži vodonik.

**Bakar sa manjim dodacima.** Ovom grupom obuhvaćene su legure sa veoma visokim sadržajem bakra (iznad 98%) koje za svoj naročiti kvalitet zahvaljuju specijalnim dodacima kao što su Ag, Cd, Cr, Te, Be, Si, Sn, Ni ili Mg, i to u količinama od 0,1 do 2%. Prema svojoj nameni ove legure mogu se podeliti u razne podgrupe, i to:

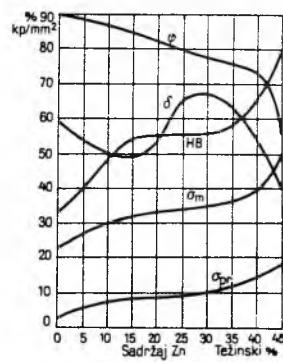
a) Visokoprovodljive legure sa povišenom temperaturom omekšavanja, odnosno rekristalizacije i sa većom jačinom, kao što su srebrni bakar (do 0,1% Ag) i kadmijum-bakar (od 0,5 do 1% Cd). Primenjuju se za elastične delove aparata koji se zagrevaju ili moraju

da se leme, za izradu posuđa, kao i za dugačke elektroprednjike, trole, elektrode za zavarivanje, itd.

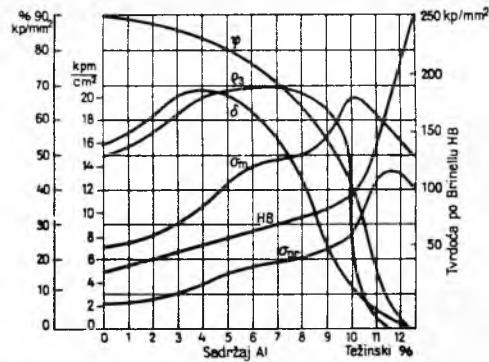
b) Legure sa dobrom čvrstoćom i na povišenoj temperaturi, sa izvanrednom mehaničkom obradljivošću na strugu, zadovoljavajućom elektroprednjivošću ( $\sim 52 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ) i otpornosti protiv korozije, kao što su hrom-bakar (0,5% Cr) i telur-bakar (0,5% Te). Služe za izradu elektroda za zavarivanje, glava za gasne motore, za delove koji treba da se fino obraduju na automatima ili autogeno zavaruju, za delove električnih aparata, itd.

c) Legure sa izvanredno visokom čvrstoćom i tvrdoćom, koja naročito naglo raste sa hladnom deformacijom, dok im je elektroprednjost prilično skromna ( $29\ldots45 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ ). To su legure: berilijum-bakar (oko 2,0% Be) sa jačinom na kidanje i do  $150 \text{ kp/mm}^2$ , provodna brona PTT (Leitbronze, sa malim dodacima od 0,3 do 1,5 Sn, Cd, Si ili Mg), »niksilicid« (2,4% Ni ili 0,6% Si). Primenjuju se za telefonske prednjike, za šipke u rotorima, za izradu opruga, membrana, alata bez varnjenja, čekića, klešta, elektroda za zavarivanje, za izradu delova koji traže dobru toplotnu prednjost, visoku tvrdoću i otpornost prema koroziji na povišenim temperaturama, kao npr. delova lokomotivskih ložišta i sl.

**Mesinzi.** Zahvaljujući svojim odličnim mehaničkim i tehnološkim osobinama, legure bakra i cinka su najrasprostranjenije legure bakra, te se u industriji i zanatstvu uveliko upotrebljavaju u vidu mnogobrojnih vrsta mesinga. Ove legure sadrže praktično do 46% cinka, koji se pored bakra nalazi sam ili sa manjim količinama kalaja, gvožđa, mangana, nikla, aluminijuma ili silicijuma. Prema tome mesinge možemo podeliti na *čiste mesinge i mesinge sa dodacima*. Čisti mesinzi, tj. binarne legure bakra i cinka, koji čine osnovu svih ostalih vrsta mesinga, mogu se podeliti na tri podgrupe. Prvu podgrupu obuhvataju  $\alpha$ -mesinzi koji sadrže teoretski do 39% Zn. Međutim, praktično se i pri nešto nižem sadržaju cinka primenjuje pod mikroskopom pored  $\alpha$ -faze prisustvo novog sastavnog dela strukture, tj. faze  $\beta$ , doduše još u neznatnim količinama. Sve legure čistih  $\alpha$ -mesinga veoma su plastične i dobro se ponašaju pri obradi hladnom deformacijom, pri zavarivanju i luženju, a takođe i pri obradi toploj deformacijom, ukoliko se pazi na čistoću materijala, temperaturu i brzinu deformacije. Druga podgrupa, ( $\alpha + \beta$ )-mesing, ima dvofaznu strukturu, koja teoretski počinje da se stvara kad sadržaj cinka u mesingu naraste iznad 39% Zn, ali je praktična granica obično već pri sadržaju od 36% Zn. Porastom sadržaja cinka povećava se udeo faze  $\beta$  na račun količine faze  $\alpha$ , te se pri sadržaju od 45% Zn struktura sastoji u potpunosti



Sl. 3. Zavisnost mehaničkih osobina mesinga od sadržaja cinka.  $\sigma_0$  granica proporcionalnosti ( $\text{kp/mm}^2$ ),  $\sigma_m$  čvrstoća ( $\text{kp/mm}^2$ ),  $\delta$  istezanje (%),  $\sigma_{0r}$  kontrakcija ( $\text{kp/mm}^2$ ), HB tvrdoća po Brinellu ( $\text{kp/mm}^2$ ). Materijal deformisan 40%, odžaren na  $550^\circ\text{C}$  2 časa.



Sl. 4. Zavisnost mehaničkih osobina aluminijumskih bronzi od sadržaja aluminijuma.  $\sigma_0$  granica proporcionalnosti ( $\text{kp/mm}^2$ ),  $\sigma_m$  čvrstoća ( $\text{kp/mm}^2$ ),  $\delta$  istezanje (%), kontrakcija (%),  $\sigma_3$  udarna žilavost ( $\text{kp/mm}^2$ ). Materijal deformisan 30%, odžaren na  $550^\circ\text{C}$  2 časa.

od faze  $\beta$ . Struktura faze  $\beta$  karakteriše treće podgrupe mesinga,  $\beta$ -mesing, koji sadrži od 45 do 50% cinka. Daljim povećavanjem sadržaja cinka pojavljuje se izvanredno krta faza  $\gamma$ , zglob čega su mesinzi sa više od 50% Zn tehnički neupotrebljivi. Suprotno  $\alpha$ -mesinzima,  $\beta$ -mesinzi iz treće podgrupe se vrlo teško obraduju hladnom deformacijom, ali se odlično obraduju u vrućem stanju

i nisu toliko osetljivi na primese i režim vruće obrade kao  $\alpha$ -mesinzi. Prema tome,  $\beta$ -mesinzi su materijali za obradu vrućom, a  $\alpha+\beta$ -mesinzi druge podgrupe leže po svojim osobinama obradljivosti između mesinga prve i treće podgrupe, a njihove osobine zavise od međusobnog količinskog odnosa i oblika faze  $\alpha$  i faze  $\beta$ . Boja legura bakar-cink menja se primetno sa procentom cinka. Manje količine cinka, do 5%, neznatno utiču na crvenu boju bakra. U intervalu od 5 do 10% Zn pojavljuje se crvenkastobronzana boja legure, koja pri sadržaju od 15% Zn prelazi u crvenkastozlatnu boju, a već pri sadržaju od 20% Zn u potpuno žutozlatnu. Mesinzi sa 25...38% Zn imaju tipičnu zelenkastožutu boju, a mesinzima sa 38...45% Zn boja se ponovo vraća na tonove zlatnožute boje. U praksi, a naročito u trgovini, mesinzi sa većim sadržajem bakra (iznad 72% Cu) nazivaju se tombacima i dele se prema boji na crveni, zlatni, žuti tombak itd. Otpornost prema koroziji je svim legurama bakar-cink relativno dobra, mada su mesinzi iznad 85% bakra znatno otporniji od ostalih. Zavisnost mehaničkih osobina mesinga od sadržaja cinka grafički je prikazana u sl. 1.

Cistim binarnim legurama Cu-Zn dodaju se često i drugi elementi, kao npr. olovo, radi njihove bolje mehaničke obradljivosti na strugu, zatim kalaj, aluminijum, gvožđe i mangan u cilju postizanja visokokvalitetnih specijalnih mesinga velike čvrstoće, otpornih prema koroziji, decinkaciji i habanju, koji se uglavnom dobro obrađuju vrućom deformacijom ili se samo liju u završne oblike. Glavne vrste mesinga, njihov naziv, hemijski sastav i upotreba u industriji i zanatstvu prikazane su u tabeli I.

Tabela 1

## GLAVNE VRSTE MESINGA UPOTREBLJAVANE U INDUSTRIJI I ZANATSTVU

Naziv	Strani naziv	Cu %	Zn %	Dodaci %	Osobine i upotreba
Tombak Crveni tombak	Email-tombak; Gilding metal Rottombak; Commercial bronze	95 90	5 10	— —	Odljčno se obrađuju hladnom deformacijom, u topлом stanju teže obradljivi. Oblik izrade: limovi, trake, žice, cevi, šipke, čančići. Upotreba: za izradu nakita, ukrasa, dekorativnih delova fasada, metalnih creva, kapilarnih cevi, košuljica zrna za municiju, rudarske kapsile itd.
Zlatni tombak	Goldtombak; Richlow brass, red brass	85	15	—	Ima i dobru jačinu i dobru plastičnost te se uz visoku čvrstoću odlično duboko izvlači u hladnom stanju. Oblik izrade: limovi, trake, šipke i rondele. Upotreba: za izradu šupljih vučenih oblika, čahura, grla za sijalice, reflektora za farove, upaljača, okvira za hladnjake, delova aparata i mašina koji se hromiraju ili niklju, itd.
Svetlocrveni tombak Žuti tombak	Helltottombak; Low brass Gelbtombak, Patronenmessing; High brass, cartridge brass	70	30	—	Za limove, šipke, profile, cevi.
Polutombak	Common high brass, drawing brass	66	34	—	Dobra otpornost prema koroziji u vodi; relativno jeftin. Za izradu kondenzatorskih cevi za brodove u slatkoj vodi.
Admiralitetski mesing	Admiralty metal; Admiralitymessing	70	29	1 Sn	Visoka otpornost prema koroziji u slanoj vodi; teže je obradljiv, pa je skuplji. Za izradu kondenzatorskih cevi za brodove u morskoj vodi.
Aluminijumski mesing	Aluminiummessing; Aluminium brass	76	22	2 Al	Jeftin. U obliku limova, trake, cevi, šipki, profila. Veoma široke primene za sve vrste izvlačenih predmeta i armatura.
Mesing za tlačenje	Druckmessing	63	37	—	Za armature, razne livene konstruktivne delove.
Mesing za livenje Mesing za kovanje	Gussmessing Muntz metal; Schmiedemessing	63 60	34 40	3% Pb 0,5...3,5 Pb	Toplim deformacijom se odlično obrađuje, a i na strugu. U obliku limova, traka, šipki i profila.
Tvrdi mesing za zavrtnje	Automatenmessing; Clock brass	58	40	2%	Za sitne delove instrumenata, zupčanike za satove, zavrtnje, navrtke, gravirane skale.
Mornarički mesing	Marinemessing; Naval brass, Tobin bronze	60	39	1 Sn	Dobra jačina i otpornost prema koroziji; jeftin. Za razne delove u mornarici u obliku ploča, šina, šipki i profila.
Specijalni mesinzi	Sondermessing	55...62	ostalo	Mn + Al + Fe + Si + Ni do 7%	Samo liven, vruće presovan, vruće valjan ili kovan. Za turbinske lopatice, limove, vretena ventila, razne delove veće tvrdoće u mašinogradnji.

**Kalajne bronce.** Sadržaj kalaja u bronzama obično varira od 4 do 10%. Uticaj kalaja na osobine bakra je mnogo intenzivniji nego što je uticaj cinka. Već i sa manjim povećanjem sadržaja kalaja naglo rastu jačina i tvrdoća, dok obradljivost ovih legura deformacijom sa porastom sadržaja kalaja brzo opada. Često se dešava da se u strukturi ovih legura zbog neravnomernosti procesa solidifikacije pojavi i faza  $\gamma$  ( $Cu_4Sn$ ), koja znatno povlašava krtost materijala i onemogućuje njegovu obradu deformacijom. Otpornost kalajnih bronzi prema koroziji veoma je visoka. Ovim binarnim legurama bakra i kalaja često se dodaju i drugi elementi, naročito cink, a ponekad uz njega i olovo. Ovakve legure zovu se *crveni liv* ili *crvena bronza* (Rotguß). Kalajne bronce mogu se podeliti u dve glavne podgrupe, i to na legure koje se obrađuju deformacijom u trake i žicu za opruge svih vrsta, naročito u elektrotehnici za spojke, za vretena za ventile, membrane itd., i na legure koje se liju u ležaje i upotrebljavaju za ostale potrebe u mašinogradnji. Glavni predstavnik prve podgrupe je *valjačka bronza* (Wbz-6) sa 6% kalaja, a postoje i slične bronce sa sve do 9% kalaja. Ove

legure se katkada nazivaju i *fosforne bronce* (mada ne sadrže fosfora) jer se pri njihovu topljenju primenjuje kao dezoksidaciono sredstvo fosfor-bakar (90% Cu i 10% P). Legure druge podgrupe, *bronce za livenje*, obuhvataju u prvom redu crvene bronce (crveni liv) za ležajeve, u kojima sadržaj kalaja varira od 4 do 10%; obično se dodaje još cink (3...7%), a katkada i olovo (do 3%). Ovde još treba spomenuti bronzu za zvona (iznad 20% Sn), koja daje lep zvuk; zrcalasti metal *speculum* (30...40% Sn), koji se može odlično polirati te služi za ogledala na mernim aparatima i za reflektore, zatim kalajne bronce sa olovom (od 5 do 25% Pb) za ekonomične ležajeve.

**Aluminijumske bronce** su legure na bazi bakar-aluminijum, kojima se često dodaju manje količine gvožđa, nikla ili mangana. Aluminijumske bronce koje sadrže do 9% aluminijuma mogu se obrađivati deformacijom, i to znatno bolje u toplogem stanju, te su one i najvažnije legure ove vrste. Legure sa sadržajem aluminijuma iznad 10% (pa sve do 15%) i sa drugim dodacima sačinjavaju podgrupu višefaznih livačkih aluminijumskih bronzi. Glavne osobine ovih materijala su visoka otpornost prema atmosferskoj i hemijskoj koroziji i na povisenoj temperaturi (zbog prisutnosti veoma tankog površinskog sloja  $Al_2O_3$ ), visoka čvrstoća i tvrdoća, lepa zlatna boja i velika otpornost prema habanju. Zavisnost mehaničkih osobina aluminijumskih bronzi od sadržaja aluminijuma prikazana je grafički u sl. 2. Aluminijumske bronce upotrebljavaju se za izradu bižuterije, nakita, novca i sl., zatim za izradu limova, cevi i šipki otpornih prema koroziji i habanju, pogodnih za hemijsku industriju i mašinogradnju. Livačke aluminijumske

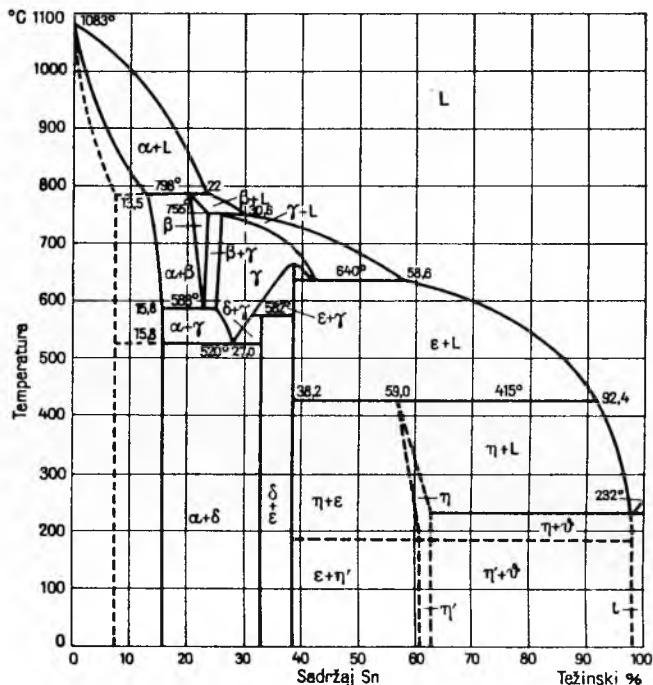
bronze služe za izradu pužnih prenosa, zupčanika, klizača, armatura, postolja, ventila itd.

**Legure bakra i nikla.** Ova grupa bakarnih legura može da se podeli na dve podgrupe, i to: na *binarne legure* koje se sastoje samo od bakra i nikla (od 2,5% do 30% Ni) ili sadrže još manje dodatke (do 1%) drugih elemenata (Si, Mn, Fe, Sn, Al), i na *ternarne legure* koje pored bakra i nikla sadrže kao treću važnu komponentu cink, gvožđe ili kobalt. Kupro-nikli prve podgrupe najčešće se javljaju u odnosima Cu/Ni: 95/5, 80/20 i 70/30. Dobro se obrađuju deformacijom u toplogem i hladnom stanju ukoliko je materijal pretvodno dobro homogeniziran žarenjem. Sa većim procentom nikla raste jačina i tvrdoća legure, a obradljivost i elektro-provodnost se smanjuju. Zbog svoje dobre jačine i visoke otpornosti prema koroziji i habanju kupro-nikli imaju široku primenu u industriji, i to za kondenzatorske cevi i cevi za hladnjake gde se koristi morska voda, za lopatice gasnih turbina, za dijafragme, za sudove i cisterne za hemikalije. Dodatkom manjih količina Si, Al, Sn, Mn, Fe, Zn jačina i otpornost prema koroziji kao i obradljivost znatno se po-

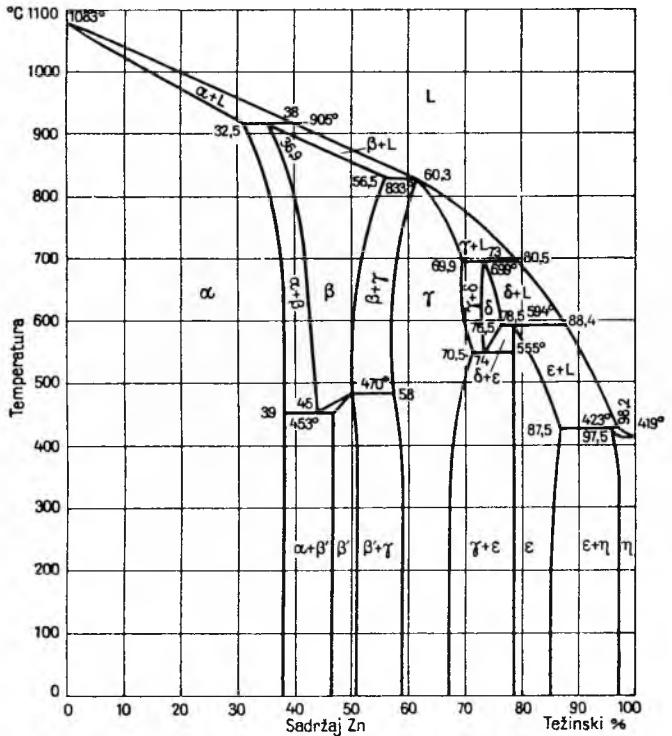
višavaju. Takvi kupro-nikli sa dodacima nose razna imena kao što su: Kunial (sa Al), Adnic (sa Sn), Ambrac (sa Zn) itd. Važan predstavnik druge podgrupe ternarnih legura je srebrnasto-bela legura Cu-Ni-Zn zvana *novo srebro* ili *nikl-mesing*, u kojoj sadržaj bakra obično varira od 60 do 65%, sadržaj nikla od 7 do 30%, a ostatak je cink. Najviše se upotrebljava novo srebro sa strukturom koja sadrži fazu  $\alpha + \beta$ . Te se legure deformacijom dobro obraduju samo u toploem stanju. Novo srebro ima lep sjaj, dobro se polira, otporno je prema koroziji i habanju i ima dobru čvrstoću i elastičnost. Izrađuje se u obliku limova, traka, vučenih profila i cevi, a služi za proizvodnju nakita, pribora za jelo, dekorativnih armatura, za izradu kontaktnih opruga na električnim aparatima, za delove u automatskim telefonskim centralama, za pomorske sprave, ključeve, brave, slavine i za izradu delova koji se pozlaćuju. Od ternarnih legura ove vrste treba još pomenuti dva materijala od kojih se izrađuju trake i žice odličnih magnetskih osobina a koje se primenjuju u elektrotehnici. To su: »Cunife«, legura sa 60% Cu, 20% Ni i 20% Fe, i »Cunico«, legura koja se sastoji od 50% Cu, 21% Ni i 29% Co.

*Legure bakra sa silicijumom.* Ove silicijumske bronce sadrže do 3% silicijuma, a često im se dodaju Zn, Mn i Fe. Odlično se zavaruju, a mogu se i dobro liti i obrađivati. Primjenjuju se u hemijskoj industriji, brodogradnji i industriji hartije.

*Legure bakra i mangana.* Manganske bronze sadrže obično pored 10...25% Mn još i Al ili Ni. Time se dobija lepa svetla boja legure, dobra čvrstoća i tvrdoča. Interesantna je legura sastava



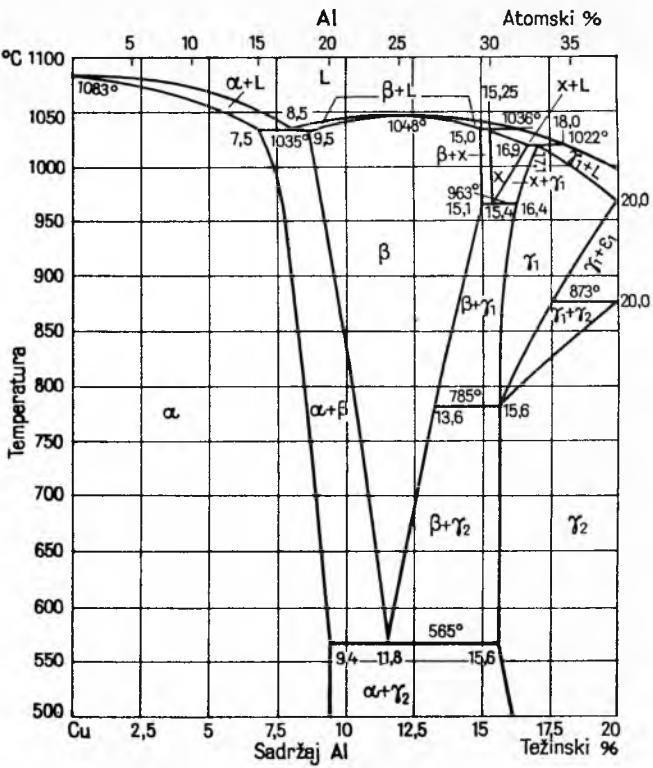
Sl. 6. Dijagram stanja bakar-kalaj



### Sl. 5. Dijagram stanja bakar-cink

65% Cu, 25% Mn, 10% Al, koja se ponaša kao staljan magnet te se često zbog svojih ostalih dobrih osobina radije upotrebljava u električnim instrumentima nego magnetični čelik. Legura sa pogodnim odnosom Cu-Mn-Ni postiže tvrdoću po Vickersu i do  $450 \text{ kp/mm}^2$ , što je sasvim slično berilijum-bronzi, od koje je taj materijal znatno jeftiniji.

**Metalografske karakteristike legura.** Posmatrajući dijagrame stanja Cu-Zn, Cu-Sn i Cu-Al (sl. 5, 6, 7) primećuje se da u sva tri dijagrama postoji niz raznih faznih područja za koja se uobičajilo obeležavanje grčkim slovima  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  i  $\epsilon$ . Međutim, poznavajući osobine sekundarnih čvrstih rastvora i intermetalnih jedinjenja, može se očekivati da će samo mali broj područja ovih dijagrama predstavljati legure od ozbiljnijeg komercijalnog značaja. I zaista, komercijalno interesantni delovi ovih dijagrama obuhvataju obično samo po dva područja; prvo područje sadrži

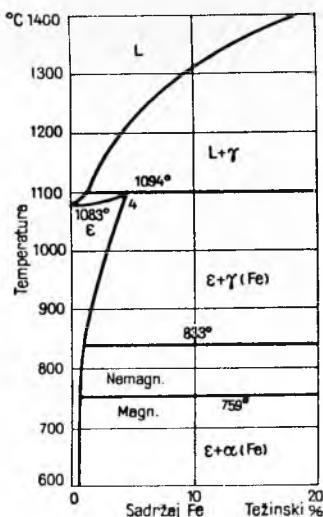


Sl. 7. Dijagram stanja bakar-aluminijum

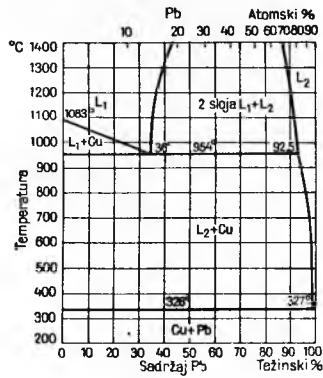
faze  $\alpha$  i faze  $\beta$ . Međutim, kad bi se ova legura naglo ohladila u vodi sa više temperature, npr. sa  $800^{\circ}\text{C}$ , zadržala bi se u njoj čista sekundarna faza  $\beta$ , dok bi se naknadnim žarenjem ovakva legura obogaćivala fazom  $\alpha$  različitog sastava, a konačni sastav nastale faze  $\alpha + \beta$  zavisio bi od temperature žarenja i njegova trajanja.

Iako se u leguri Ms-64 očekuje prisutnost samo jedne faze, faze  $\alpha$ , ipak se u tome mesingu uvek nade i izvesni manji procenat faze  $\beta$  jer difuzioni procesi uravnovežavanja sistema u ovom području legure teku veoma sporo. Sreća je da ovaj mali procenat krte faze  $\beta$  praktično ne utiče na obradljivost  $\alpha$ -mesinga. Slična pojava odstupanja usled nepotpune difuzije susreće se i u ostala dva dijagrama.

U tehnološkim procesima obrade bakarnih legura deformacijom neverovatno velik značaj imaju sastav i odnos faza, kao i njihov oblik izlučivanja. Kako je faza  $\beta$  u hladnom stanju prilično krtka, razumljivo je da će se  $(\alpha + \beta)$ -mesinzi i  $\beta$ -mesinzi kudikamo teže hladno valjati i izvlačiti nego  $\alpha$ -mesing, čija je faza  $\alpha$  prilično plastična. Šta više,  $(\alpha + \beta)$ -mesing u kojem je faza  $\alpha$  raspoređena na osnovi faze  $\beta$  u obliku igličastih kristalita (Widmannstättenova struktura) raspolaže boljom plastičnosti nego isti  $(\alpha + \beta)$ -mesing u kome je faza  $\alpha$  izdvojena u drugom obliku, tj. kao sitna



Sl. 8. Dijagram stanja bakar-gvožđe



Sl. 9. Dijagram stanja bakar-  
-olovo

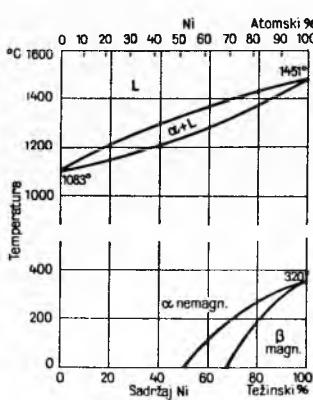
ove legure gube svoj komercijalni značaj zbog pojave izvanredno krte faze  $\gamma$ .

Od legura Cu-Sn dolaze u obzir za obradu deformacijom samo bronze do 12% Sn, jer sa daljim porastom sadržaja kalaja nastupa vrlo tvrda i lomljiva faza  $\delta$ .

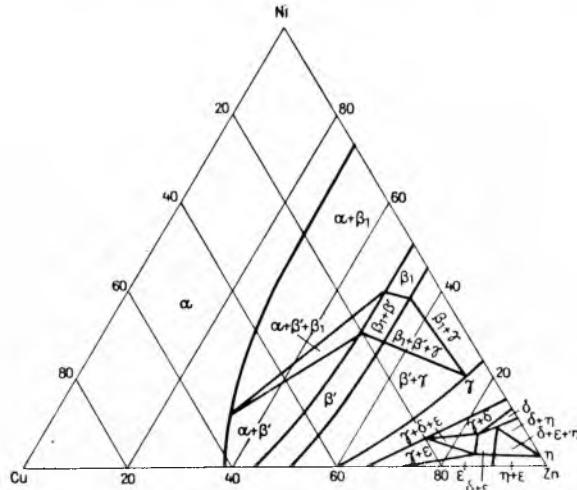
Sličan slučaj je i sa legurama Al-Cu, gde je zbog pojave vrlo krte faze  $\gamma$  granica obradljivosti deformacijom već 9% Al.

Svakako da procenat Cu u svim ovim legurama može biti znatno niži kad se upotrebljavaju kao materijal za fazonsko livenje u kalupe, jer se odlivci u tom slučaju naknadno ne obrađuju deformacijom.

Interesantno je posmatrati dijagrame stanja bakra sa pojednim njegovim primesama, jer se iz njih vidi dokle su pojedine primese rastvorljive u bakru u čvrstom stanju i da li su uopšte rastvorljive u njemu, tj. do kog procenta su ti metali kao primese u bakru neškodljivi. Razumljivo je da će se nerastvorenii višak primese izdvojiti nakon kristalizacije odlivka kao opne na granicama zrna, što znatno slabii međukristalitnu vezu materijala u vrućem stanju. Pored toga, ove opne od primesa znatno koči rekristalizaciju i rast zrna pri žarenju deformisanog materijala. Iz dijagramma Cu-Fe (sl. 8) vidi se da Fe na 1050°C stvara sa bakrom čvrst rastvor sa 3,5% Fe, dok na 635°C (tj. na kritičnoj temperaturi toplog valjanja) njegova rastvorljivost opada na 0,15%. Oovo je, kako to prikazuje dijagram Cu-Pb (sl. 9), praktično nerastvorljivo u bakru u čvrstom stanju, te već i najmanji sadržaj olova znatno snižava elektroprovodljivost i toplotnu provodljivost bakra, dok mu obradljivost na strugu znatno poboljšava. Pri vrućoj obradi bakra deformacijom oovo u većem procentu utiče vrlo štetno jer dolazi do prskanja materijala. Dijagram stanja



**Sl. 10. Dijagram stanja bakar-nikal**



Sl. 11. Dijagram stanja bakar-cink-nika

poluproizvodi sa glatkim površinama i bez prskotina, za hladno valjanje i izvlačenje bakarnih legura preporučuje se sitnozrna i ujednačena kristalna struktura sa veličinom zrna ispod 0,05 mm. Veličina zrna, a u vezi s tim i osobine mesinga, zavisi od temperaturе žarenja, trajanja žarenja i prethodnog stepena deformacije materijala. Što je viša temperatura to se brže odigrava proces rekristalizacije. Šta je viši stepen deformacije to se sitnije i ujednačenje zrno postiže, a i potrebna temperatura za rekristalizaciju je niža. Kao što je već napomenuto, primese u bakarnim legurama znatno koče brzinu rekristalizacije.

**Stari bakar** predstavlja vrlo važan sastavni deo svih vrsta šarži pri topljenju bakra i bakarnih legura bilo za izradu odlivaka fazonskog livenja bilo za livenje blokova i trupaca za valjanje, presovanje i kovanje. To su u prvom redu otpaci i škart-materijal, koji se mogu klasirati u razne vrste s obzirom na svoj hemijski sastav, oblik i krupnoću, kao i s obzirom na svoje poreklo. *Otpaci* su obavezni gubici pri preradi metala i legura mehaničkim putem, a njihov procenat zavisi od stepena ekonomičnosti tehnologije, savršenosti mašinskog parka i veštine proizvođača. *Škart* je neobavezni gubitak u proizvodnji i nastaje pogrešnim i nepažljivim radom uredaja i radnika i upotreboti nekvalitetnih sirovina. Pravilno klasiranje i sortiranje otpadaka i škarta po svom hemijskom sastavu od velikog je značaja za siguran i kvalitetan rad pri topljenju i livenju bakra i bakarnih legura, te se za ove materijale uvek mora prethodno izvršiti hemijska analiza, a naročito otpadaka i škarta koji stižu iz drugih preduzeća ili stovarišta. Najsigurnije a i najbrže analiziranje otpadaka i škarta nepoznatog hemijskog sastava postiže se spektrografom.

Kad je otpadak sitan i jako izmešan od više raznovrsnih metalova i legura te ga je nemoguće klasirati, obično se sav zajedno pretopi u jednoj šarži a zatim analizom odredi siguran hemijski sastav. Dalje, ako je potrebno, vrši se rafinacija u plamenim pećima.

Po svom poreklu otpaci i škart-materijali mogu poticati iz pogona samog preduzeća u kome se oni ponovo prerađuju (npr. iz pogona livnica, valjaonice, presaonice, izvlačionice, kovačnice, mašinske radionice itd.) ili se uvoze iz drugih preduzeća ili stovarišta, gde se ne mogu pretapati.

Po svom obliku krupnoći otpaci i škart od bakra i bakarnih legura mogu se javljati u vidu teških ploča ili odlivaka, te se moraju raznim načinima seći u manje komade pogodne za šaržiranje u peć, zatim kao razni odsečci od proizvodnje limova, traka i žice, koji se u naročitim presama presuju u kompaktne pakete težine oko 50 kg, spretne za ubacivanje u peć. Naročito bi bio nepogodan za šaržiranje i topljenje metalni otpadak u obliku zamašćenih sitnih ostružaka koji dolaze iz mašinskih radionica, kad se ne bi prethodno odmastiili, osušili i briketirali u posebnim presama na brikete težine 6...10 kg.

U stari bakar ubraja se i bakar koji se dobiva procesom redukcije i rafinacije otpadaka nemetalnog karaktera, tj. raznih oksida ili soli metala, kao što su: sitna pepeljasta šljaka pri topljenju bakra i bakarnih legura (sa 30...60% Cu); oksidna kora, tzv. kovačina, od CuO, Cu<sub>2</sub>O i drugih metalnih oksida (sa oko 80% Cu) koja se stvara na površini materijala i otpada sa nje prilikom tople obrade valjanjem, presovanjem i kovanjem ili prilikom žarenja u oksidnoj atmosferi; bakarni mulj koji se sakuplja na dnu kada, cevnih vodova i kanala uređaja za neutralizaciju otpadne kiseline, a sastoji se uglavnom od nerastvorljivog Cu<sub>2</sub>O, Cu<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i delića bakra.

Za dobijanje bakra iz šljake, oksidne kore i metalnog mulja kiselinskih uređaja postoji više metoda na bazi pirometalurških ili hidrometalurških postupaka, a njihov izbor zavisi u prvom redu od kvaliteta ovih otpadaka i od mogućnosti preduzeća.

Bakar dobiven na ovaj način sadrži ~ 98...99% Cu, a za naročite potrebe obično se još rafiniše oksidaciono-redukcionim pirometalurškim postupkom ili elektrolizom.

#### PRERADA BAKRA I BAKARNIH LEGURA

**Topljenje.** Bakar i bakarne legure se u praksi pretapaju i legiraju u električnim lučnim i niskofrekventnim indukcionim pećima, a u pećima sa direktnim plamenom gde se kao gorivo upotrebljava nafta ili gas. Za topljenje bakarnih legura pokazale su se do sada kao najekonomičnije i najkvalitetnije niskofrekventne indukcione peći, jer se u njima postiže odlična kontrola temperature i potpuno ravnomerno progrevanje i mešanje rastopa uz minimalne gubitke u izgorku i šljaci. U pećima sa električnim lukom i sa direktnim plamenom dolazi do koncentrisanog zagrevanja rastopa odozgo, a time i do znatnog pregrevanja površinskih slojeva šarže, što dovodi do neravnomernog i sporijeg stapanja i progrevanja šarže u peći, do većeg isparavanja i oksidisanja površinskog sloja rastopa, — usled čega se povećavaju gubici u vidu izgorka i šljake —, i do bržeg trošenja obloge u gornjem delu peći. Ovaj momenat je vrlo važan ako se uzme u

obzir da se komponente bakarnih legura, kao što su kalaj, olovo a naročito cink, vrlo intenzivno isparavaju i sagorevaju baš na pregrenjam mestima.

U pećima za topljenje bakarnih legura ili se prave odredene legure mešajući kvalitetne sirovine u tačnim odnosima i dovodeći ih pri tom u tečno stanje, ili se samo prevode već gotove legure ili čisti bakar u tečno stanje da bi se mogli izliti u određene završne oblike ili odlivke za dalju obradu deformacijom. Prema tome, da bi se izbegla i potreba rafinacije rastopa, treba uvek strogo voditi računa o tome da su sirovine za topljenje hemijski čiste i kvalitetne. Šarža za bakar i bakarne legure može se sastojati od svežih sirovina, npr. od bakarnih i cinkanih katoda, ili od svežih sirovina i vlastitog otpatka preduzeća (npr. iz pogona livnica, valjaonice ili presaonice), ili od svežih sirovina i otpadaka uvezenih iz drugih preduzeća, ili, na kraju, samo od otpadaka bez svežih sirovina. Po svom kvalitetu otpaci mogu biti od bakra i raznih bakarnih legura, kao i različite krupnoće i oblika. Pri topljenju mesinga, npr., ubacuju se najpre u peć najteže topljive bakarne katode, zatim teže topljiv otpadak, a na kraju pred samu izlivanje ubacuju se cinkove katode ili blokovi, da bi se na taj način smanjili gubici cinka isparavanjem za vreme topljenja ostale šarže. Pri pravljenju većine drugih bakarnih legura, radi uštede u energiji i vremenu, najpre se ubacuju lakše topljive komponente, u kojima se kasnije ubaćeni teže topljni metali stapaju i pri nižim temperaturama nego što je njihova tačka topljenja u čistom stanju. Naročito se pri topljenju α-legure mora obratiti pažnju da polazne sirovine budu čiste od primesa kao što su Sb, Bi, Pb, Fe, As, jer one vrlo štetno utiču naročito na vruću obradu ovih legura deformacijom, kao i na njihovu termičku obradu. ( $\alpha + \beta$ )-Legure i β-legure bakra su manje osetljive, te se pri njihovoj izradi mogu često uzimati u šaržu i manje kvalitetni otpaci, a pogotovo ako se izrađuju livačke legure koje se neće obradivati deformacijom i neće na mestu upotrebe biti izložene većim naprezanjima. Pri legiranju sa metalima koji imaju znatno nižu ili višu tačku topljenja od bakra (npr. Al i Ni) upotrebljavaju se predlegure u kojima se dodatne komponente već nalaze u dosta visokim procentima (npr. Al/Cu 50/50) a tačka topljenja im je bliska tački topljenja bakra. Predlegure se upotrebljavaju i da bi se sigurnije i lakše legirale sa bakrom komponente čiji je sadržaj tačno određen i malen, a koje bi se lako isparile i sagorele kad bi se same ubacivale u peć u tako malim količinama. Primenom predlegura znatno se ubrzava ili smiruje proces topljenja i osigurava se tačno doziranje, bez gubitaka, i najmanjih količina inače lako isparljivih komponenata.

Da bi se sprečila oksidacija i isparavanje bakra i bakarnih legura pri topljenju, upotrebljavaju se različite pokrivke u peći i loncima, kao što su suv drveni ugalj, dursalit, melasa, staklo, razni topitelji u obliku soli, šljaka i zaštitni gas. Takode se pri izlivanju bakra i bakarnih legura u većini slučajeva ubacuje u lonac kao dezoksidaciono sredstvo fosfor-bakar (Cu/P 90/10). Temperature topljenja bakarnih legura su različite i variraju od 875°C (Cu/Zn 56/44) pa do 1250°C (Cu/Ni 70/30). Vreme topljenja zavisi od tipa peći, hemijskog sastava legure i vrste, oblika i količine sastojaka šarže.

**Livenje blokova i trupaca.** Da bi se od bakra i bakarnih legura što uspešnije dobili željeni proizvodi valjanjem, presovanjem, kovanjem i izvlačenjem, moraju se prethodno od njih izliti blokovi ili trupci najpogodnjeg oblika i težine za takvu obradu. Ovo oblikovanje polaznog materijala za obradu deformacijom vrši se u tečnom stanju livenjem u klasične, vodom hladene kokile ili pak kontinuiranim livenjem. U većoj serijskoj proizvodnji valjanih, presovanih i vučenih proizvoda od bakra, mesinga i bronzi pokazala se kao najekonomičnija i najkvalitetnija izrada blokova i trupaca *kontinuiranim livenjem* (bezdanim livenjem), koje se sve više primenjuje za livenje obojenih metala. Livačka mašina za kontinuirano livenje legura bakra ima sledeće glavne delove: sabirnu niskofrekventnu indukcionu peć većeg kapaciteta (~ 4 t), u koju se donosi rastop u loncima iz peći za topljenje i legiranje; cev od vatrostalnog materijala sa razvodnim košem na donjem kraju, koja sprovodi rastop u loncima iz peći za topljenje i legiranje; cev od vatrostalnog materijala sa razvodnim košem na donjem kraju, koja sprovodi rastop od njuške peći do kokile bez primetnih gubitaka topote, bez vrtloženja i bez oksidacije mlaza; vodom hladenu bezdanu kokilu određenog preseka i visine koja za vreme livenja vrši preko ekscentra mala

pomeranja gore dole (hod  $\sim 3$  mm, a 80 hodova/min), što obezbeđuje kvalitetniju površinu izlivenog materijala; prstenaste prskalice koje direktno i sa svih strana intenzivno vodom hlađe usijani blok (ili trupac) neposredno posle njegova izlaska iz bezdane kokile; dva do tri para potpornih valjaka koji pridržavaju i izvlače upravo izliveni blok iz kokile i sprovođe ga do kružne testere koja stalno odseca njegov donji kraj na određenu dužinu pogodnu za topalu obradu; broj obrtaja potpornih valjaka je sinhronizovan sa brzinom livenja. Glavni faktori u tehnologiji kontinuiranog livenja bakra i bakarnih legura su: fizičke i tehnološke osobine legure; temperaturna livenja (od 950 do 1300°C); brzina livenja, koja zavisi od vrste i temperature rastopa, površine i oblika preseka odlivka, dužine kokile i režima hlađenja; broj oscilacija kokile u minuti; režim hlađenja rastopa u kokili, tj. temperatura ulazne i izlazne vode za hlađenje; intenzitet direktnog hlađenja prskalice ispod kokile; podmazivanje kokile i pokrívke u kokili (grafit, čad ili zaštitni gas). Kapacitet livačkih mašina za kontinuirano livenje bakra i bakarnih legura kreće se obično od 2,5 do 10 t/h. Kontinuirano livenje ima niz prednosti nad stariim klasičnim načinima livenja blokova i trupaca, kao što su: potpuna zdravost i kompaktnost strukture materijala, savršena ujednačenost hemijskog sastava liva po čitavom presku, mnogo lakši i jednostavniji rad, minimalan broj potrebnih radnika i visoka produktivnost i ušteda u energiji i materijalu.

**Topla obrada deformacijom.** Bakar i bakarne legure područja fazā  $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$  i  $\beta$  sve se uglavnom dobro obraduju toplo deformacijom, tj. toplim valjanjem, presovanjem i kovanjem.

Prednosti tople obrade su velika brzina sažimanja uz mali utrošak energije, a nedostaci su gruba oksidna površina, nemogućnost održavanja tačnih tolerancija obradivog materijala kako u pogledu dimenzija tako i u pogledu kvaliteta. *Toplo valjanje* bakra i bakarnih legura najuspešnije se vrši na moćnim povratnim drouwaljačkim stanovima sa valjcima od livenog gvožđa ili čelika raznih prečnika i dužine (najčešće  $\varnothing 800 \times 1600$  mm), koji se za vreme rada hlađe vodom. Težina blokova za valjanje iznosi obično od 600 do 1200 kg. Oni se prethodno zagrevaju u električnim ili gasnim potisnim pećima do temperature od 700 do 1000°C u vremenu od 3 do 5 h, a onda se toplo valjuju, najčešće sa 8 do 25 provlaka, od bloka debljine 100...160 mm u traku debljine 5...8 mm, širine od 600 do 1100 mm i dužine oko 20 m. Toplo valjanje mora se uvek završiti iznad temperature potrebne za brzu rekristalizaciju materijala (obično iznad 400°C), jer za čitavo vreme toplog valjanja brzina rekristalizacije mora biti veća od brzine deformacije. U protivnom slučaju došlo bi za vreme toplog valjanja do naglog povišenja tvrdoće materijala. Toplo izvaljane trake ili ploče se ohlađe a zatim se luže u 12%noj sumpornoj kiselini, ili se glođu na posebnim glodalicama da bi se pre hladnog valjanja odstranio debeli oksidni sloj sa površine. Čišćenje površine traka i ploča glođanjem pokazalo se kao mnogo kvalitetnije i



Sl. 13. Hladno valjanje bakra (Sevojno)

sigurnije naročito pri toploj valjanju  $\alpha$ -legura, npr. Ms-72 (Cu/Zn 72/28), pri kojemu se gotovo uvek na površini trake ili ploče stvara vrlo tanak sloj prskotina i ljuščica.

*Presovanje* bakra i bakarnih legura u šipke, cevi, profile i žice dugačke oko 3 pa do 50 m, srednjeg prečnika od  $\varnothing 6$  do  $\varnothing 300$  mm, vrši se direktnim načinom na horizontalnim i vertikalnim hidrauličnim presama od 500...5000 MPa. Kako se bakar i bakarne legure presuju na relativno višim temperaturama i pritiscima, alati prese, tj. matrica, igla, pritisni kolut, klip i recipijent moraju biti od visokokvalitetnih čelika otpornih prema visokoj temperaturi i jakom pritisku (legiranih sa W, Cr, Ni, Co, V itd.). Pored toga recipijent treba da bude uvek zagrejan na 200...300°C, da bi se sprečilo brzo hlađenje trupca za vreme presovanja. Trupci bakra i bakarnih legura, čije se dimenzije kreću od  $\varnothing 100$  do  $\varnothing 500$  mm sa dužinom od 120 do 650 mm, zagrevaju se pre ubacivanja u recipijent prese u električnim ili gasnim pećima sa nagibom do temperature od 700...900°C u vremenu od 6 do 8 h, što opet zavisi od legure, dimenzije trupca i snage peći. Važniji faktori pri presovanju su: hemijski sastav i plastične osobine legure, režim zagrevanja trupaca, stepen deformacije materijala, brzina presovanja, radni pritisak presovanja, oblik matrice, kvalitet površine alata, podmazivanje i zagrejanost alata i recipijenta itd. Sve  $\alpha$ -legure su naročito osetljive na brzinu presovanja, pogotovo ako imaju u sebi izvestan procenat olova, antimona ili bismuta, dok  $(\alpha + \beta)$ -legure nisu tako osetljive. Slična pojava je i pri toploj valjanju. Da bi ispresovani materijal bio što čišći, tj. bez upresovanih oksida i šljake, trupac se nikada ne ispresuje do kraja, nego se uvek ostavi u recipijentu otpresak dug oko 10% ukupne dužine trupca. Pored toga, pritisni kolut ima uvek za 2 do 3 mm manji prečnik od recipijenta, pa se on prilikom presovanja utiskuje u trupac i na taj način u recipijentu ostaje košuljica debljine zida od 1 do 1,5 mm. Otpresak i košuljica čine obično  $\sim 8\text{--}20\%$  otpatka, ali se zato u njima sa sigurnošću sakupljaju sav oksid i nečistoće koje bi mogле da sa površine trupca uđu u ispresovani materijal.

**Hladna obrada deformacijom.** Izvodi se hladnim valjanjem, izvlačenjem na vučnim mašinama, dubokim izvlačenjem na presama i hladnim kovanjem. Prednosti hladne obrade deformacijom nad toploj su: postizanje tačnih dimenzija valjanih i vučenih proizvoda u skladu sa propisanim tolerancijama; postizanje tačno određenog kvaliteta materijala u skladu sa mehaničkim i metalografskim osobinama koje su propisane standardima; postizanje čistih i sjajnih površina na gotovim valjanim ili vučenim poluproizvodima. Nedostaci hladne obrade su sledeći: mnoge legure bakra vrlo teško se hladno deformišu a da pri tome ne isprskaju ili ne oštete mašinu, te je proces vrlo spor, naročito pri preradi ( $\alpha + \beta$ )- i  $\beta$ -legura; hladna obrada ovih legura zahteva prema tome veoma često međufazno žarenje i luženje, što znatno poskupljuje proizvodnju. Međufazno i završno žarenje hladno deformisanih bakarnih legura radi njihovog omekšavanja izvodi



Sl. 12. Toplo valjanje bakra (Sevojno)

se u električnim i gasnim komornim, kapastim i prolaznim pećima, koje mogu da rade sa zaštitnom atmosferom ili bez nje. Vreme žarenja zavisi od tipa peći, količine i vrste materijala i stepena njegove deformacije, kao i od temperature žarenja. Potrebna visina temperature za rekristalizaciju hladno deformisanih bakarnih legura kreće se u području od 400 do 700°C. Hladno obradivane mesinge koji sadrže preko 20% Zn treba podvrgavati lakom završnom žarenju, tzv. otpuštanju, na nižoj temperaturi (200...300°C), da bi se izbegla veoma česta pojava tzv. *sezonskog prskanja*, koje se tek naknadno pojavljuje zbog unutrašnjih naprezanja zaostalih u deformisanom poluproizvodu.

*Hladno valjanje* bakra i bakarnih legura u trake, limove i ploče izvodi se na povratnim valjačkim duo-, trio-, kvarto- i seksto-stanovima čiji su valjci u maloj meri konkavno brušeni i izrađeni od veoma tvrdog kovanog hromnog čelika. Brzina valjanja traka može da dostigne do 200 m/min. Podmazivanje i hlađenje valjaka vrši se emulzijom voda-ulje. Sažimanje bakarnih legura posle žarenja kreće se praktično od 20% do 75%, što zahteva više provlaka kroz valjke. Širina valjanih poluproizvoda od ovih legura ide najčešće do 1500 mm, dok debljina traka može da se smanji i do 0,005 mm.

*Izvlačenje* bakra i bakarnih legura u šipke, cevi i profile vrši se raznim vučnim uređajima sa radnom silom od 1 do 50 MPa, kao što su vučne klupe, trolej-maštine (na kojima se žica, profil ili cev izvlači u koturovima) i kombinovane maštine tipa »Schumag«, na kojima se materijal istovremeno izvlači, ravna, seče na određenu dužinu i polira. Brzina izvlačenja bakarnih legura kreće se od 12 pa do 400 m/min. Veoma važan uticaj na silu izvlačenja i kvalitet materijala ima oblik alata (matrice i trna), stanje njegovih površina kao i sastav sredstva za njegovo podmazivanje.



Sl. 14. Izvlačenje bakra (Sevojno)

Čistoća površine materijala posle žarenja i luženja takođe znatno utiču na silu izvlačenja. Stepen sažimanja pri izvlačenju ovih legura je sličan kao i pri hladnom valjanju.

Izvučene šipke, cevi i profili odsecaju se na određene dužine, ispravljaju se na ravnalicu i poliraju na mašinama za poliranje.

*Izrada kablova*. Idealna sirovina za izradu kablova je OFHC-bakar (visokoprovodljivi bakar bez kiseonika). U modernoj proizvodnji izljuje se na mašini za kontinuirano livenje sa zaštitnom atmosferom četvrtasti trupci koji se toplo valjuju u žicu a onda se posle luženja hladno izvlače do određenih prečnika na trolej-mašinama sa više matrica i bubnjeva. Brzina izvlačenja može da se popne i do 240 m/min. Izvučena žica se svetlo žari u kapastim pećima a zatim se pomoću specijalnih presa prevlači slojem sirove gume ili plastične mase. Ovakvo prevučena žica služi kao polazni materijal za izradu raznovrsnijih složenih električnih kablova sa jednom ili više žila, pri čemu se specijalnom i često vrlo složenom tehnologijom vrši njihova naročita izolacija hartijom, pamukom, bitumenom, gumom, jutom, plastičnom masom, čeličnom vrpcom, olovom itd., a što sve zavisi od mesta njihove raznovrsne upotrebe.

**Livenje.** Bakar i bakarne legure vrlo često se upotrebljavaju za izradu posebnih odlivaka raznih oblika koji se dalje ne obrađuju deformacijom. Najvažnije metode takvog livenja ovih legura jesu: *gravitaciono livenje*, tj. livenje bez pritiska, u kalupe od peska, cementa ili metala; *livenje pod pritiskom* u zatvoreni metalni kalup (brizgani liv) i *centrifugalno livenje*.

Kalupi od peska mogu poslužiti samo za jedno livenje, te se za svaki odlivak mora praviti novi kalup. Kalupi od cementa i betona mogu poslužiti i za nekoliko livenja. Međutim, metalni kalupi, tj. kokile, mogu izdržati velik broj livenja. Za izradu peščanog kalupa zahteva se materijal koji će biti jeftin, dovoljno čvrst, plastičan, dovoljno propustljiv, otporan u vatri. I peščani i metalni kalupi premazuju se sa unutrašnje strane posebnim premažima (ugljenom prašinom, grafitom) koji štite njihovu površinu od izgorevanja, a takođe obezbeđuju bolji kvalitet površine odlivka.

U većini mašina za livenje bakarnih legura pod pritiskom rastop se prisilno tera iz rezervoara, bilo pritiskom vazduha ili klipom, u metalni kalup čije se dve polovine drže zajedno hidrauličkim ili mehaničkim pritiskom. Prednosti ovog livenja su sledeće: proces je brz i jeftin i za nj se može upotrebiti i lošiji otpadak; odlivci su dobre sitnozorne strukture, jedri (jer je razvoj gasova sprečen ili umanjen do mikroporoznosti), tačnih dimenzija u granicama uskih tolerancija, glatke površine i dobijaju se čisti od peska itd. Bakarne legure se u velikim količinama liju pod pritiskom, i to su uopšte najjače i najvažnije legure koje se liju ovom metodom. Zbog relativno visoke temperature livenja u odnosu na druge legure, bakarne legure je teže i složenije presovati i liti na ovaj način nego druge legure.

Od bakarnih legura liju se gravitaciono ili pod pritiskom najčešće mesing Ms-63 sa 3% Pb i specijalni mesini sa 56...64% Cu za izradu raznih armatura, okova, navrtki, elisa, ventila itd., zatim kaljane bronze za ležajeve sa 20%, 14% ili 10% Sn, aluminijske bronze sa 10...15% Al za pužne prenose, armature, zupčanike, klizne površine itd. Centrifugalno se liju najviše bakarne i bronzone cevi.

#### SVETSKA PROIZVODNJA BAKRA

Raspodela proizvodnje sirovog bakra iz ruda po zemljama prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2  
SVETSKA PROIZVODNJA BAKRA 1961 (u kt)

Sjedinjene države Amerike	1095	Turska	20
Zambija (Severna Rodezija)	569	Bugarska	18
Cile	524	Švedska	16
SSSR	475	Uganda	13
Kanada	364	Belgijska	12
Kongo (Leopoldville)	292	Južna Rodezija	12
Japan	203	Poljska	10
Peru	182	Portugal	9
Savezna Republika Nemačka	64	Indija	9
Australija	63	Velika Britanija	5
Južnoafrička republika	53	Taiwan	2
Meksiko	42	Austrija	2
Finska	34	Ostala Azija	36
Španija	32	Ostala Evropa	7
Jugoslavija	31	Ostala Amerika	2
Norveška	22	Ostala Afrika	1
Nemačka demokr. republika	20	SVET	4243

God. 1900 iznosila je svetska proizvodnja bakra 490 kt, 1912 prešla je 1 Mt, 1930 prešla je (bez SSSR i Kine) 2 Mt, onda se do 1954 kolebala između 2 i 2,6 Mt, 1956 prešla je 3 Mt, 1961 prešla je 4 Mt i iznosila 1963 4,5 Mt.

#### NAŠA PREDUZEĆA ZA PROIZVODNJU I PRERADU BAKRA

**Borski rudnik** je otkriven 1903 godine i od tada je u eksploraciji. Nalazi se u Timočkom eruptivnom masivu koji se proteže od Bučja kod Knjaževca do Majdanpeka. Samo rudišta se nalazi u hidrotermalno promenjenoj zoni andezita i proteže se na dužini od 2 i širini od 0,8 kilometara. U rudi su po važnosti zastupljeni sledeći minerali bakra: kovelin, halkozin, enargit, bornit i halkopirit. U površinskim delovima rudišta zastupljeni su oksidni minerali, uglavnom sulfati. Ruda se otkopava jamskim i površinskim kopom. Do danas rudnik je dao nešto preko milion tona bakra, a prosečan sadržaj bakra u rudi je iznosio oko 4,5%. Sa-

dašnje rezerve se cene na ~50 miliona tona sa prosečnim sadržajem od 1,5% Cu. Godišnje se otkopa oko 2 miliona tona rude sa ~ 1,5% Cu i ona se koncentriira flotacijom. Koncentrat flotacije sadrži prosečno 20% bakra, a pored njega proizvede se oko 300 hiljada tona piritnog koncentrata godišnje.

Nova topionica je standardnog tipa, ima odeljenje za pripremu šarže, pržionicu sa 5 Wedge-peć kapaciteta po 200 tona šarže dnevno, plamenu peć kapaciteta 1000 tona šarže dnevno, 3 konvertora kapaciteta po 80 tona dnevno i anodnu peć kapaciteta 100 tona bakra po šarži. Gasovi pržionice i konvertora preraduju se posle otprašivanja u sumpornu kiselinu, koja u Pravohu služi za proizvodnju superfosfata. U ovoj topionici preradi vaće se i flotacioni bakarni koncentrat iz Majdanpeka, te će ukupna godišnja proizvodnja bakra iznositi 55 kt.

Elektroliza bakra je podignuta 1938 sa kapacitetom od 12 kt/god. (do tada je blister liven u kokile i izvožen). 1952 ona je proširena na 42 kt/god. Radi po multiplom sistemu sa maksimalnom jačinom struje od 10 kA. 1963 proizvedeno je 49 kt.

Odeljenje za preradu anodnog mulja preraduje i precipitat iz odeljenja za cijanizaciju zlatnosnog kvarca.

**Majdanpek** je jedno od najstarijih rudišta u Jugoslaviji: pronađene kamene alatke ukazuju na preistorijske rudarske eksploracione radove. Rudnik je u prošlosti prosperirao od 1250 do 1450, kad su ga eksploratali Venecijanci, i od 1719 do 1738 u doba austrijskog ruderstva. God. 1860 Majdanpek dat je u zakup »Francusko-srpskog društva« a 1902 godine jednom belgijskom društvu. U međuvremenu su se strani vlasnici često menjali. Do godine 1900 bile su za eksploraciju od interesa samo sekundarne rude, delimično limonit, a prvenstveno lokalne plitke koncentracije bogatih sekundarnih bakarnih ruda. Izgradnjom 16,5 km dugačke žičare do dunavskog pristaništa Donji Milanovac godine 1907 počelo je doba proizvodnje bakrom siromašnog ili bezbakarnog pirita. Piritne rude izvadeno je do 1956, kada je proizvodnja obustavljena, oko 1,5 miliona tona. Povremeno se u Majdanpeku topio i bakar.

Novim geološko-tektonskim radovima započetima 1949 utvrđeno je masovno orudnjenje sa primarnim bakarnim rudama, koje liče umnogome na »disseminated copper ores« veoma rasprostranjene u USA; od njih se razlikuje samo po tome što su bakarne rude primarnog porekla i sadrže 0,5...3% bakra. Predviđa se prema današnjem stadiju istraga postojanje ~ 145 Mt rude sa 0,8% bakra, sa prosečno 0,7 g/t zlata i 10 g/t srebra. Od navedene količine predviđeno je da će se eksplorati površinskim kopom 124 Mt sa faktorom iskorisćenja oko 86%. Deo ostatka rude od površinskog kopa moći će se izvaditi na kraju radova pogodnom jamskom otkopnom metodom.

Površinski kop je u neposrednoj blizini brdašca Starica, između doline Malog Peka i Saške Reke, u obliku izduženog levka sa dužom osom u pravcu S—J. Priprema i koncentracija majdanpekske rude vrši se u postrojenju sa dnevnim kapacitetom od 10 kt rude. Odeljenje flotacije (flotacione čelije »Fagergren«) sa odeljenjem filtracije daje dnevno 640 t bakarnog koncentrata sa 18% bakra. Koncentrati prevoziće se železnicom u topionicu rudnika Bor. U tom cilju je postrojenje prugom normalnog kolesa Debeli Lug-Požarevac vezano za postojeću železničku mrežu. Prva faza izgradnje Majdanpeka osigurava godišnju proizvodnju od ~ 25 kt bakra.

Još neverificirane rudne rezerve od ~ 223 Mt rude sa srednjim sadržajem od 0,83% bakra omogućće do 1971 godine povećanje godišnje proizvodnje bakra metalna na 45 kt.

**Preduzeća za preradu bakra.** Od davnine je u našoj zemlji preradivan bakar, a naročito se razvila njegova kujundžijska obrada kuckanjem od dolaska Turaka na Balkan.

Jedno od najstarijih preduzeća na teritoriji Jugoslavije, koje se bavilo sve do kraja 1954 preradom bakra i bakarnih legura, *Industrija metalnih polizdelkov* (IMPOL) u Slovenskoj Bistrici, podignuto je još 1680 kao kovačnica. God. 1940 proizvodnja je iznosila 3772 tone valjanih i presovanih proizvoda od bakra i mesinga. Posle Drugog svetskog rata IMPOL je povisio svoju proizvodnju na ~ 14 kt godišnje, ali se nakon pojave dvaju velikih novih kapaciteta, Fabrike kablova Svetozarevo i Valjaonica bakra Sevojno, od 1954 potpuno preorientisalo na preradu aluminijuma i njegovih legura.

*Novosadska fabrika kabela* (NOVKABEL) osnovana je 1922 u Novom Sadu kao filijala madarske fabrike kabela Felten & Guilleaume iz Budimpešte. U 1939 proizvodnja je iznosila 738 t; 1953 fabrika je zapošljavala 927 radnika i proizvela 4436 t gole bakarne užadi raznih vrsta, izolovanih provodnika i presovanih i vučenih poluproizvoda od bakra i mesinga. Veći deo od toga se izvozi.

*Fabrika električnih kabela* »ELKA« osnovana je 1924 u Zrenjaninu, ali je već 1927 preseljena u Zagreb. U 1962 ovo preduzeće preradilo je 4000 t bakra u kablove i izolovane provodnike. Posle oslobođenja kapaciteti i assortmani se stalno proširuju i veliki deo proizvoda izvozi se u razne zemlje sveta.

*Mariborska livarna* u Mariboru izvršila je u posleratnom periodu velike rekonstrukcije i znatno proširila svoje kapacitete, te danas raspolaže velikom livnicom za raznovrsne odlivke bakra, mesinga i bronzi, odeljenjem za livenje pod pritiskom, presaonicom i izvlačionicom cevi, šipki i raznih profila itd.

*Fabrika kablova* »Moša Pijade«, Svetozarevo (FKS) locirana je vrlo povoljno kako u pogledu izvora glavnih sirovina za preradu (elektrolitni bakar iz Bora, rafinisano olovo iz Trepče i ugalj iz Despotovačkog bazena) tako i u pogledu izvoza gotovih proizvoda direktnim saobraćajnicama na Zapad i Bliski Istok, preko Soluna i Carigrada. Fabrika je počela sa proizvodnjom 1955. Ima 3 glavna pogona: metalurški pogon, pogon za izradu kablova jake struje i pogon za izradu kablova slabe struje. Planirana godišnja proizvodnja FKS je 24 kt olovom obloženih provodnika i 9 kt drugih provodnika. Pored toga fabrika treba da vâlja i ~ 35 kt betonskog gvožđa.

Glavni proizvodi FKS jesu: olovni kablovi za jaku struju sa papirnom izolacijom do 35 kV; olovni kablovi za jaku struju sa gumenom izolacijom do 1 kV; izolovani provodnici za postrojenja jake struje; kablovi i izolovani provodnici za telefonska postrojenja; gumom izolovani provodnici sa olovnim plaštom za radni napon do 500 V; dinamo-žica; bakarna žica i bakarna užad; čelična užad; betonsko gvožđe prečnika 6 i 8 mm i olovne cevi.

*Valjaonica bakra* »Slobodan Penezić-Krcun« u Sevojnom kraj Titova Užica, leži na sredokraći između glavnih njenih sirovinskih i energetskih izvora kao što su Bor za bakar, Šabac za cink, Trepča za olovu, Kolubarski basen za ugalj i niz elektrana: Zvornik I i II, Perućac, Kokin Brod, Vlasina, Kostolac, Kolubara, Ovčar Banja i Međuvršje, za električnu energiju. Glavne saobraćajnice, magistrala Beograd-Bar i autoput Titovo Užice-Čačak-Beograd, vrlo su važne za izvoz u Zapadnu Evropu, Bliski i Daleki istok, Afriku i Ameriku.

Valjaonica bakra počela se graditi 1951 i izgrađena je u rekordnom vremenu te je započela sa proizvodnjom već 1954. Njena proizvodnja (1959) kreće se godišnje oko 20 kt valjanih i vučenih poluproizvoda od bakra i mesinga i to po assortmanu: lima 6 kt; traka i folija 4,2 kt; rondela 0,7 kt; cevi 2,4 kt; šipki i profila 5,6 kt; žice 0,9 kt. Od ovih količina izvozi se oko 60% u Severnu i Južnu Ameriku, Bliski i Daleki istok, istočne zemlje, Zapadnu Evropu i Afriku.

Iz sastava Valjaonice bakra Sevojno izdvojilo se 1956 preduzeće »Duro Salaj« u Nišu. Ovo mlado preduzeće sa svojim još skromnim kapacitetima uspešno preraduje, pored bakra i bakarnih legura, i druge metale i legure u livenom, presovanom, vučenom i valjanom obliku.

LIT.: X. K. Аветисян, Металлургия меди, Москва 1941. — В. Я. Могилевич и Д. Т. Новиков, Пирометаллургия меди, Москва-Ленинград 1944. — J. Newton i C. L. Wilson, Metallurgy of copper, New York 1952. — A. Buiss, ed., Copper, The science and technology of the metal, its alloys and compounds, New York 1954. — А. П. Смирнов, Промышленные цветные металлы и сплавы, Москва 1956. — J. Vi., R. Vur. i B. Đć.

**BAKARNI SPOJEVI** industrijski se proizvode u znatno manjoj mjeri nego metalni bakar: cijeni se da je potrošnja bakra kao metala 20 puta veća nego bakra u spojevima. Spojevi bakra dobivaju se gotovo isključivo iz metala, bilo direktno, bilo indirektno, preko drugih spojeva. Upotrebljavaju se u najvećim količinama kao fungicidi u poljoprivredi i vinogradarstvu. Osim toga se upotrebljavaju kao pigmenti, u elektrotehnici, bojadisarstvu, pirotehnici, proizvodnji rejonu (umjetne svile), vulkanizaciji kaučuka, industriji stakla i keramici, također kao katalizatori u kemijskoj industriji i kao lijekovi. Najvažniji spojevi bakra su sulfat  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , modra galica ili plavi kamen, i bakarni oksiklorid,