

## OSOBINE ALUMINIJUMA

Aluminijum je hemijski element treće grupe periodnog sistema elemenata D. I. Mendeljejeva sa rednim brojem 13 i atomskom masom 26, 98. Slobodnih izotopa nema.

Aluminijum je hemijski aktivan. Pri običnim uslovima reaguje sa kiseonikom iz vazduha i prekriva se tankim slojem oksida( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Ovaj sloj štiti aluminijum od dalje oksidacije i čini ga koroziono postojanim. Što je aluminijum čistiji, njegova koroziona postojanost je veća. To se objašnjava boljim prijanjanjem oksidnog sloja na površinu metala. Od primesa prisutnih u aluminijumu, gvožđe najviše snižava njegovu korozionu postojanost.

Aluminijum se po nizu osobina razlikuje od drugih metala. Mala gustina, dobra plastičnost, zadovoljavajuća mehanička čvrstoća, visoka toplotna i električna provodljivost, osnovna su svojstva koja mu daju široku primenu. Aluminijum je netoksičan, nemagnetičan i koroziono postojan u mnogim sredinama, a takođe i jeftiniji u odnosu na druge obojene metale. Zahvaljujući ovim osobinama, aluminijum je našao primenu u mnogim granama savremene tehnike. Značajna količina aluminijuma se koristi u obliku legura sa silicijumom, bakrom, cinkom, manganom i drugim metalima. Industrijske legure aluminijuma sadrže najmanje dve-tri legirajuća metala koji se uvode u aluminijum, pre svega radi povećavanja njegove mehaničke tvrdoće.

Legure aluminijuma prerađuju se livenjem i plastičnom deformacijom, pa se zbog toga moraju posedovati odgovarajuće osobine za ove vidove prerade. Oko 70% od ukupne proizvodnje prerađuje se plastičnom deformacijom. Ostali deo koristi se za proizvodnju livenih kalupa, praha i soli. Iz livenih proizvoda dobijaju se fazonski odlivci različitih oblika. Široku primenu imaju liveni proizvodi od silumina (legura Al-Si sa sadržajem silicijuma kao legirajućeg elementa do 1. 3%)

U današnje vreme, aluminijum i njegove legure koriste se praktično u svim oblastima savremene tehnike. Značajnu primenu imaju u avionskoj i automobilskoj industriji, u železničkom i vodenom transportu, građevinarstvu, mašinogradnji, elektrotehnici, hemijskoj industriji, industriji ambalže i drugih proizvoda široke potrošnje. Aluminijum visoke čistoće nalazi široku primenu u novim oblastima savremene tehnike: elektrotehnici, poluprovodničkoj elektronici, radiotehnici itd. U metalurgiji, aluminijum se koristi kao reducent za dobijanje drugih metala (hroma, kalcijuma, mangana...) elektrotermičkim postupkom, za proizvodnju umirenih čelika (kao dezoksidans) i za zavarivanje.

## MINERALI I RUDE ALUMINIJUMA

### Rasprostranjenost aluminijuma u prirodi

Aluminijum je veoma zastupljen u prirodi. Sa 7. 45%, koliko ga ima u Zemljinoj kori, na prvom je mestu od metala, a posle kiseonika(46. 7%)i silicijuma(27. 7%) najrasprostranjeniji je hemijski elemenat. Zajedno s njima aluminijum čini 82. 5% mase gornjeg sloja Zemljine kore debljine 20-30km.

Usled izražene hemijske aktivnosti prema kiseoniku, aluminijum je u prirodi prisutan isključivo u vezanom obliku, u vidu prirodnih jedinjenja (minerala). Oko 250 različitih minerala sadrži aluminijum, od čega najveći deo (oko 40%)otpada na alumino silikate. Prirodnih mineral sa metalima koji ne sadrže silicijum nema mnogo. Takav je mineral korund, koji predstavlja bezvodni oksid aluminijuma. Obojen tragovima drugih oksida, prirodni korund, dobro iskristalisan, javlja se u obliku dragog kamena.

Od primarnih alumo-silikata, nastali su sekundarni minerali, koji se po pravilu karakterišu povećanim sadržajem aluminijuma. Od tih minerala najznačajniji su:hidratisani oksidi(bemit, diaspor i hidrargilit), sadržani u najvažnijoj rudi-boksitima;kaolit sadržan u kaolinima i glinama;alunit i dr. Od amorfni mineral posebno je važan kriolit, čiji se rastop koristi kao rastvarač glinice pri elektrolitičkom dobijanju aluminijuma.

### Rude aluminijuma

Aluminijevi minerali koncentrisani u prirodi daju rude u kojima su prisutni i minerali drugih metala, tj. Jalovinski minerali. Pod rudom aluminijuma, sa gledišta njenog korišćenja za dobijanje glinice, odnosno aluminijuma, podrazumeva se prirodna sirovina koja ispunjava sledeće uslove:

- 1)da ima visok sadržaj aluminijevog oksida( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) koji omogućuje njegovo preradu po prihvatljivoj ceni. ;
- 2)da je  $\text{Al}_2\text{O}_3$  u njoj prisutan u takvoj formi koja omogućava njegovo izdvajanje u čistom obliku
- 3)da se u prirodi nalazi u obliku velikih rudnih tela, odnosno ležišta.

S navedenog stanovišta, aluminijeve rude poređane po ovim zahtevima su:boksit, nefelini, aluniti, kaolini i gline.

### Boksiti

Boksiti su najvažnija ruda aluminijuma iz koje se danas dobija skoro celokupna svetska proizvodnja glinice i aluminijuma. Po hemijskom sastavu, boksiti su složena polikomponentna sirovina. Osnovne komponente u njima su minerali:aluminijuma, gvožđa, silicijuma, titana, kalcijuma i magnezijuma. Po pravilu, boksiti uvek sadrže organske supstance i manje ili veće količine sumpora. Kvalitet boksita, u smislu korišćenja za proizvodnju glinice, uglavnom se određuje sadržajem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{SiO}_2$ . Što je sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3$  veći, a sadržaj  $\text{SiO}_2$  manji, boksit je boljeg kvaliteta i obrnuto.

Sa stanovišta Bayerovog postupka proizvodnje glinice, danas se smatra da su boksiti sa modulom 10 kvalitetni, sa modulom 8-10 takvog kvaliteta da se mogu prerađivati, i sa modulom ispod 8 lošeg

kvaliteta čija prerada nije ekonomski opravdana ( $\text{Si modul} = \% \text{Al}_2\text{O}_3 / \% \text{SiO}_2$ ). Izloženi kriterijumi važe samo za bemitne i diasporove boksite. Aluminijum je u boksitu prisutan u obliku hidratizanih oksida: hidralgita (gipsita)  $\text{-Al(OH)}_3$ , bemita  $\text{-AlOOH}$  i diaspora  $\text{-AlOOH}$ . Pored ovih minerala, aluminijum se može nalaziti u vidu korunda  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i različitih aluminosilikata. Pored ovih minerala aluminijum se u boksitu, u manjoj meri, može nalaziti u vidu korunda  $\text{-Al}_2\text{O}_3$  i različitih aluminosilikata. U zavisnosti od mineraloške forme prisutnog aluminijuma, kao osnovnog minerala, boksiti se dele na: hidrargitne (gipsane), bemitne, dijasporne i mešovite (hidralgitsko-bemitne i bemitno-dijasporne).

### Nefelini

Nefelini su po značaju druga aluminijeva ruda, od koje se kompleksnom preradom u industrijskom obimu proizvodi glinica. Nefelin u svom sastavu pored  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sadrži i okside alkalnih metala  $\text{Na}_2\text{O}$  i  $\text{K}_2\text{O}$  koji se kompleksnom preradom polazne sirovine dobijaju kao korisni proizvodi.

### Aluniti

Aluniti interesantne polimetalne sirovine čijom se preradom mogu dobiti glinica i soli alkalnih metala, natrijuma i kalijuma. Posvjom hemijskom sastavu alunit predstavlja dvojni sulfat aluminijuma i kalijuma (ili natrijuma)  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al(OH)}_3$ .

### Kaolini

Gline i kaolini su najrasprostranjenije sirovine koje u sebi sadrže aluminijum. Aluminijum je u glinama sadržan u obliku aluminosilikata kaolinita. Kaolinit kao osnovni nosilac aluminijuma u glinama može da se obogaćuje u cilju dobijanja bogatije sirovine, koja se može koristiti za dobijanje glinice i aluminijuma.

## Osobine industrijske glinice za elektrolitičko dobijanje aluminijuma

Glinica za proizvodnju aluminijuma treba da zadovolji određene uslove. Neophodno je da ima visok stepen čistoće, sa što manjim sadržajem oksida metala koji su elektropozitivniji od aluminijuma ( $\text{Fe}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ), jer se ti metali u procesu elektrolize izdvajaju zajedno sa njim na katodi i pogoršavaju njegove osobine. Isto tako sadržaj oksida elektronegativnijih metala ( $\text{Na}_2\text{O}$  do 0.5%) i vode (do 1%), mora biti ograničen jer menjaju sastav elektrolita. U cilju uspešnog rastvaranja glinica mora da bude određene granulacije. Suviše krupna glinica propada kroz elektrolit i taloži se na dno elektrolizera. Suviše sitna, pak pliva na elektrolitu, sporo se rastvara i povećava mehaničke gubitke.

## Klasifikacija postupaka za dobijanje glinice

Od postojećih postupaka najširu primenu i najveći značaj u industrijskoj praksi proizvodnje glinice imaju **bazni postupci**. Pomoću njih se danas proizvodi preko 95% ukupne produkcije glinice u svetu. Kod baznih postupaka postoji veći broj varijanti od kojih su najznačajnije: 1) hidro-metlurški, ili tzv. Bayerov postupak i 2) suvi alkalni, ili tzv. Sinter postupak. Suština i jednog i drugog postupka svodi se na tretiranje polazne sirovine-boksita natrijumovim bazama ( $\text{NaOH}$  ili  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) u cilju prevođenja aluminijuma iz aluminijum-oksida u natrijum-aluminat, koji je rastvoran u vodi. Aluminatni rastvor se zatim odvaja od ostatka luženja (crvenog mulja) i podvrgava procesu razlaganja sa izdvajanjem čvrstog aluminijum-hidroksida uz regeneraciju baze. Rastvor sa regenerisanom bazom se vraća u proces, dok

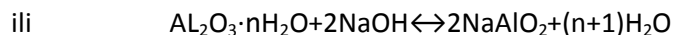
se aluminijum-hidroksid prevodi u bezvodnu glinicu. Za kvalitetne boksite kojih danas ima dovoljno ni jedan bazni postupak nije konkurentan Bayerovom postupku.

## **BAYEROV POSTUPAK ZA DOBIJANJE GLINICE**

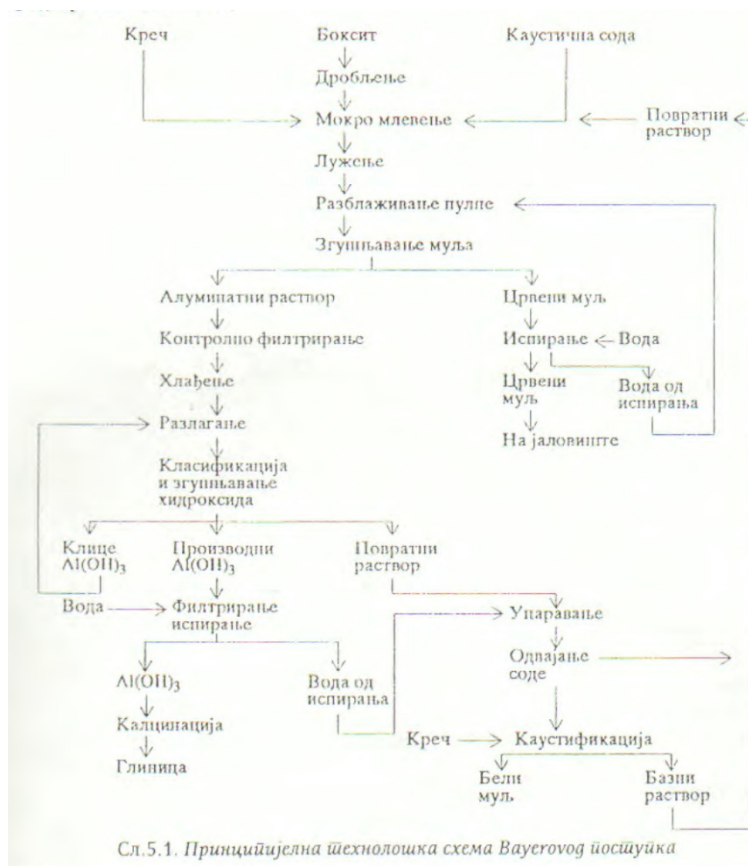
Hidrometalurški Bayerov postupak danas je osnovni i dominirajući postupak za proizvodnju glinice. Njegovom primenom se proizvodi 90% glinice usvetu. Ovakva masovna zastupljenost Bayerovog postupka, prisutnog preko 100 godina u industrijskoj praksi, može se objasniti pre svega činjenicom, da se u prirodi još uvek nalaze velike količine kvalitetnih, niskosilicijalnih boksita. Za preradu takvih boksita Bayerov postupak je najekonomičniji, relativno jednostavan i obezbeđuje proizvodnju glinice visokog kvaliteta. Bayerov postupak razradio je u period 1887-1892. god austrijski hemičar Karl Josef Bayer, po kome je i dobio ime. U proteklom period od otkrića do danas, paralelno sa razvojem nauke i tehnike, Bayerov postupak je usavršen i doveden do visokog tehničkog nivoa, s tehnološkim pokazateljima bliskim teorijskim vrednostima.

### **Tehnološka šema Bayerovog postupka**

Bayerov postupak je zatvoreni ciklus u odnosu na cirkulaciju rastvora, čija je suština u odigravanju procesa koji karakteriše povratna reakcija:



Pri luženju boksita ravnoteža navedene reakcije je pomerena s leva na desno a pri razlaganju aluminatnog rastvora sa desna na levo. Pored navedenih osnovnih procesa luženja i razlaganja, Bayerov postupak sadrži i niz drugih procesa i operacija prikazanih na slici 5.1 Slika je, dakle principijelna sa procesima i operacijama prisutnim u praksi, s tom razlikom što se u pojedinim kombinatima može razlikovati u manje bitnim detaljima.



Sa slike br. 5.1 se vidi da se polazna sirovina boksit, sa dodatkom (ili bez dodatka)kreča, prethodno priprema drobljenjem i mlevenjem u cilju usitnjavanja. Mlevenje je obično mokro u suspenziji sa kaustificiranim povratnim rastvorom. Dobijena pulpa samlevenog boksita i povratnog rastvora, odlazi u autoclave gde se boksit , zavisno od mineraloškog sastava, luži na 150-250 °C i pritisku 25-35 bara. Luženjem se dobija pulpa koju čini aluminatni rastvor i ostatak od luženja, tzv. crveni mulj. U rastvoru natrijum aluminata sadržano je:180-280g/l  $\text{Na}_2\text{O}_k$  ; 190-290g/l  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pulpa posle luženja, prvo se hladi u ekspanderima do temperature koja odgovara naponu pare ekvivalentne atmosferskom pritisku, a potom se razblažuje vodom od ispiranja crvenog mulja do adekvatne koncentracije. Razblažena pulpa upućuje se na odvajanje crvenog mulja od aluminatnog rastvora dekantacijom i zgušnjavanjem. Odvojeni crveni mulj se zatim višestruko ispire vodom, a potom se ispran deponuje na jalovište. Aluminatni rastvor dobijen dekantacijom kao preliv zgušnjivača, podvrgava se filtraciji u cilju izdvajanja mehanički ponetih čestica crvenog mulja. Nakon toga hladi se u izmenjivačima toplote do 55-65 °C(pri čemu se istovremeno predgreva povratni rastvor pre uparavanja), a zatim se šalje na razlaganje u cilju dobijanja čvrstog aluminijum-hidroksida.

Pre razlaganja aluminatni rastvor se meša sa povratnim aluminijum-hidroksidom, čije čestice služe kao klice za kristalizaciju i na toj osnovi ubrzavaju process. razlaganje se vrši laganim mešanjem i

ravnomernim hlađenjem rastvora do temperature od 42-46 °C. Pulpa izdvojenog aluminijum-hidroksida i rastvora posle razlaganja odlazi na dekantaciju u zgušnjivačima radi odvajanja aluminijum-hidroksida. Tako zgusnuta pulpa sa dna zgušnjivača u količini 25-50% filtrira se na doboš vakuum filterima, a izdvojeni hidroksid se, posle pranja, upućuje na kalcinaciju u cilju dobijanja bezvodnog oksida aluminijuma-glinice. Preostali deo hidratne pulpe u količini od 50-75% filtrira se na disk vacuum-filterima, a izdvojenihidroksid se vraća, bez pranja, u proces razlaganja novih količina aluminatnog rastvora. Rastvor posle razlaganja, tzv. matični ili povratni rastvor, sa 48-50% nerazloženog natrijum aluminata i količinom slobodnog natrijum hidroksida ekvivalentnom razloženom aluminatu, odlazi zajedno sa vodom od ispiranja aluminijum hidroksida, u proces uparavanja radi povećanja njegove koncentracije do vrednosti koja je neophodna u procesu luženja boksita. Upareni rastvor posle korekcije (tj. Nadoknade njegovih gubitaka) odlazi u process luženja, odnosno mokrog mlevenja boksita, čime je Bayerov ciklus zatvoren.

Pri uparavanju povratnog rastvora često dolazi do izdvajanja kristalne sode, koja nastaje reagovanjem natrijum hidroksida sa karbonatima prisutnim u boksitu u procesu njegovog luženja. Izdvojena soda, posle odvajanja od uparenog rastvora, najčešće se podvrgava kaustifikaciji sa  $\text{Ca(OH)}_2$  radi regeneracije natrijum hidroksida. kaustifikacijom dobijeni rastvor  $\text{NaOH}$  se vraća u Bayerov zatvoreni ciklus, ili zajedno sa matičnim rastvorom u process uparavanja, ili u process ispiranja crvenog mulja.

### **Ciklus Bayerovog postupka u sistemu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-H}_2\text{O}$**

Kod proizvodnje glinice po Bayerovom postupku aluminatni rastvor prolazi kroz sledeće tehnološke faze:luženje, razblaživanje, razlaganje i uparavanje. Na granici između svake od ovih faza menjaju se temperature, koncentracija i kaustični odnos rastvora natrijum aluminata. Ovo bitno utiče na zasićenost rastvora i njihovu postojanost. Umešno podešavanje zasićenja aluminatnog rastvora je najvažniji uslov za uspešno vođenje procesa dobijanja glinice.

### **Priprema boksita**

Priprema boksita je značajan deo tehnologije Bayerovog postupka. Najvažniji faktori za pripremu boksita za preradu su:mineraloški sastav, fizičko-mehaničke osobine i hemijski sastav. Pod pripremom boksita za Bayerov postupak podrazumevaju se , u širem smislu, sledeće operacije:skladištenje i homogenizacija, obogaćivanje i usitnjavanje(drobljenje i mlevenje).

### **Skladištenje i homogeniziranje**

Kod većih fabrika u kojima se godišnje preradi preko million tona boksita, obično se za skladištenje i homogeniziranje koristi „beding” system, a kod manjih pogona system „grajfernog” tipa. Partije boksita koje su iz različitih rudnih ležišta imaju i različit sastav. Da se uslovi luženja ne bi stalno menjali, one se homogenizuju. Homogenizacija boksita se izvodi u skladištima na taj način što se u ravnomernim slojevima, na tzv. rudnu gredu, horizontalno nanose različite partije boksita, a sa grede (tako raspoređen boksit)se skida vertikalno. Ovim se omogućava da se istovremeno i ravnomerno uzimaju količine različitih partija boksita dopremljenih u skladište. Bolja homogenizacija se postiže kod „beding” skladišta zbog toga što se posebnom mašinom pri čeonom skidanju šarže vrši dodatno homogeniziranje. Istovremeno se koriste tri paralelna polja, sa tri rudne grede, u „beding sistemu” što dodatno čini rad

bezbednijim. U tom slučaju skladište se eksploatiše na sledeći način: jedno polje se formira, jedno eksploatiše, a jedno je rezerva.



### Usitnjavanje boksita

Usitnjavanje boksita se sastoji u drobljenju, skladištenju i mlevenju. Drobljenje se najčešće vrši u drobilicama čekićarama ili sa štapovima, velikog kapaciteta. U Bayerovom postupku koristi se mokro mlevenje u mlinovima sa kuglama, koji rade u zatvorenom ciklusu sa klasifikatorom. Kao klasifikatori se koriste hidrocikloni, ili mehanički klasifikatori-vibrosita. Hidrocikloni se češće primenjuju jer su većeg kapaciteta, jednostavnije konstrukcije i zato zahtevaju manji radni proctor. Klasifikatorima se odvajaju nedovoljno usitnjene čestice boksita i ponovo vraćaju u mlin. Neophodni stepen usitnjenosti zavisi od prirode boksita i uslova za njegovo luženje.

Iz bunkera boksit se dodaje u mlin, u koji se istovremeno sa boksitom dodaje i povratni rastvor, a ponekad i kreč. Iz mlina samleveni boksit, u vidu pulpe, odlazi u agitator, a iz agitatora se pumpom prebacuje na klasifikaciju u hidrociklon. Nedovoljno usitnjene čestice boksita ovojene u ciklonuse vraćaju na ponovno mlevenje. Preliv ciklona kao pripremljena pulpa odlazi na luženje boksita u autoklavima.

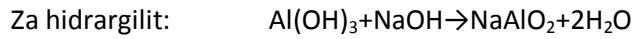
### Luženje boksita

Pod luženjem boksita podrazumeva se proces prevođenja  $Al_2O_3$ , u rastvor, u čijoj osnovi leži reakcija između hidratizanih oksida aluminijuma sadržanih u boksitu i NaOH, uz obrazovanje rastvora natrijum aluminata. Radi obezbeđivanja neophodnih kinetičkih uslova za zadovoljavajuću brzinu reakcije, proces se izvodi na povišenim temperaturama i pritiscima, koje obezbeđuje priprema autoklava.



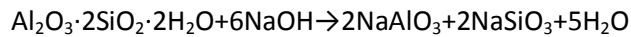
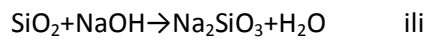
### **Ponašanje aluminijuma:**

U boksitima aluminijum je uglavnom prisutan u obliku hidratizanih oksida, koji u procesu luženja reaguju sa NaOH obrazujući lako rastvorni natrijum aluminat koji prelazi u rastvor.



### **Ponašanje silicijuma:**

Silicijum je u boksitima prisutan u obliku oksida  $\text{SiO}_2$ , koji može biti slobodan kao kvarc i opal, ili vezan u kaolinu i drugim aluminosilikatima. U uslovima izvođenja procesa luženja boksita silicijum-dioksid reaguje sa NaOH obrazujući rastvor natrijum-silikata:

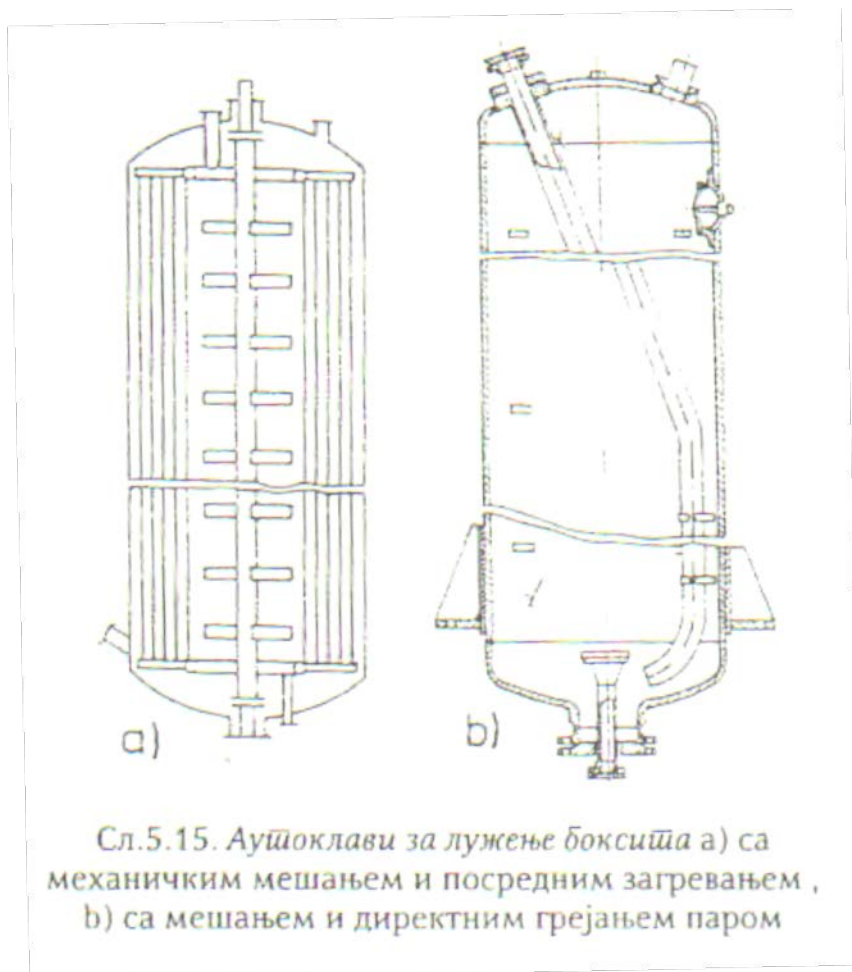


Posle prevođenja u rastvor natrijum silikat reaguje sa natrijum aluminatom obrazujući jedinjenje natrijum-alumino-silikat (permutit) koje je nerastvorno i odvaja se kao talog



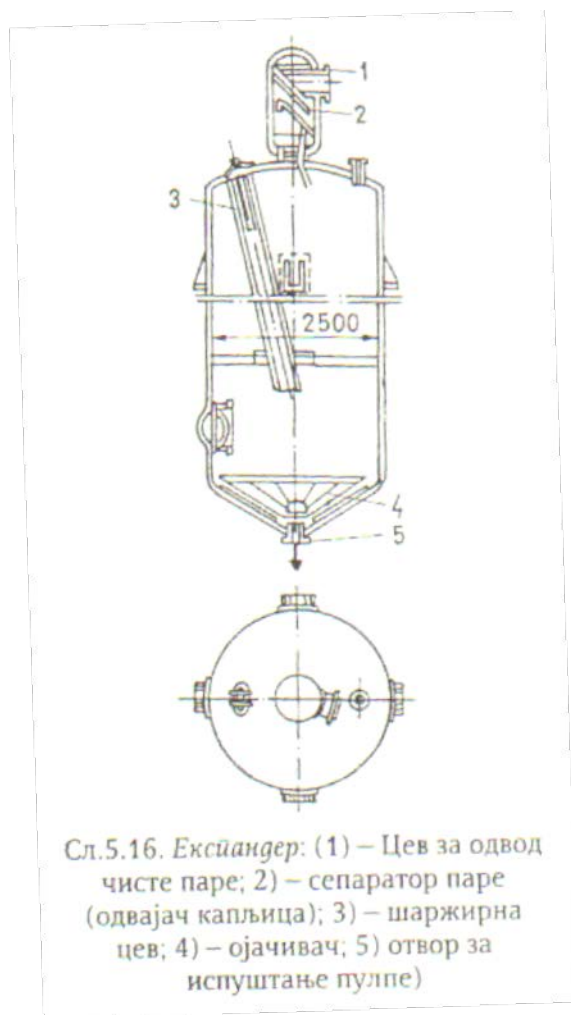
## Karakteristike autoklava

Autoklav je osnovni uređaj u kome se odigrava process luženja, koji svojim konstruktivnim karakteristikama omogućava primenu visokih temperatura i pritisaka. To su hermetički zatvoreni, vertikalno ili horizontalno postavljeni cilindrični sudovi, izgrađeni od legiranih čelika, otporni na korozivno i abrazivno delovanje suspenzije i dejstvo visokih pritisaka. Prečnika su 1, 5-3 m, visine 8-21 m i zapremine 25-150 m<sup>3</sup>. Autoklavi su jednostavne konstrukcije. Vertikalni autoklavi, koji su mnogo češće u upotrebi, sastoje se od: cilindričnog tela, sfernog vrha, konkavnog dna i zavarenih držača. Sa spoljašnje strane prekriveni su izolacionim slojem radi smanjenja gubitaka toplote. Greju se isključivo vodenom parom, pri čemu se, zavisno od načina grejanja i mešanja razlikuju: 1) autoklavi sa ugrađenim lopatastim mešačima i posrednim grejanjem preko cevastih grejača smeštenih u random prostoru autoklava i 2) autoklavi sa mešanjem i grejanjem neposredno parom, njenim ubrizgavanjem u suspenziju boksita i rastvora sa donje strane autoklava. Radi korišćenja autoklava i kontrolisanog izvođenja procesa na njegovom sfernom vrhu se nalaze više otvora: za ubacivanje pulpe, za izbacivanje pulpe, odnosno pražnjenje autoklava, za dovod pare, za ispuštanje nekondenzovane pare i obrazovanog nerastvornog gasa, za ulazak radi čišćenja i za postavljanje mešača, manometra, sigurnosnog ventila, merača temperature i meračavisine suspenzije(pulpe) u autoklavu. Na donjem delu i na dnu smešteni su otvori za ubrizgavanje pare, ispuštanje kondenzovane pare, i za pražnjenje autoklava.



### Karakteristike ekspandera (uparivača)

Pulpa aluminatnog rastvora i crvenog mulja dobijena luženjem ispušta se iz autoklava u samouparivače ili tzv. ekspandere. Njihov zadatak je da pulpu brzo ohlade do temperature koja odgovara atmosferskom pritisku, i da omoguće hvatanje i korišćenje vodene pare koja se obrazuje hlađenjem pulpe. Konstruktivna rešenja ekspandera su različita. Uparivač se sastoji od sledećih delova: cilindrično-konusnog trupa, cevi za odvod čiste pare, separatora pare, cevi za šaržiranje pulpe i otvora za ispuštanje pulpe.



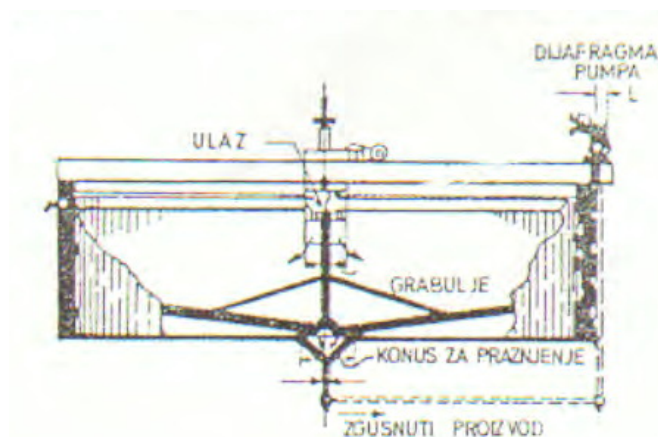
Pregrejana pulpa se kroz šaržirnu cev unosi u radni proctor ekspandera. Brzina njenog unošenja reguliše se veličinom otvora na ulaznom delu cevi pomoću specijalnog regulatora sa iglom. Zbog prigušivanja regulatorom i širenja u radnom prostoru nastaje pad pritiska pulpe, usled čega se pulpa uparava i hladi. Obrazovana para se podiže u gornji radni proctor i odvodi preko cevi. Pre odvođenja iz pare u separatoru odvajaju se kapljice vode. Uparavanjem se regeneriše znatan deo toplote utrošene na zagrevanje pulpe pri luženju. Iz tih razloga se regenerisana toplota, odnosno sekundarna para, koristi za predgrevanje sveže pulpe koja dolazi na luženje. Predgrevanje se izvodi, ili u posebnim izmenjivačima toplote ili u autoklavima baterije za luženje, tzv. predgrejačima. Delimično ili potpuno ohlađena pulpa ispušta se u seriji samouparivača, postepenim smanjenjem temperature i pritiska.

Zapremina autoklava u bateriji nije potpunosti ispunjena, u toku procesa, pulpom. Iznad stuba pulpe, koji pokriva cevaste grejače, nalazi se prazan proctor sa vazдушnim jastukom, koji ublažava udare membranske pumpe. Osim toga u tom prostoru se skupljaju i nerastvorni gasovi nastali u procesu luženja koji se odvođe preko cevi uronjene u konveksni vrh autoklava. Proces luženja u baterijama autoklava je strogo kontrolisan. merenje parametara kao što su temperature, pritisak, visina pulpe i ostala regulacija procesa izvodi se automatski uz primenu računara unovije vreme.

## Razblaživanje autoklavne pulpe, odvajanje i

### ispiranje crvenog mulja

Posle luženja i hlađenja u ekspanderima dobija se pulpa koncentrovanog aluminatnog rastvora i crvenog mulja. Ova pulpa se razblažuje sa vodom od ispiranja mulja iz prethidnog ciklusa. Razblaživanje se vrši u betonskim ili čeličnim rezervoarima, mehaničkim mešanjem. Ukupna zapremina pulpe se usled razblaživanja povećava za oko dva puta, a odnos tečno-čvrsto raste do vrednosti 20:1. Posle razblaživanja, pulpa odlazi na odvajanje i ispiranje crvenog mulja. U savremenim fabrikama, odvajanje i ispiranje, se uglavnom vrši zgušnjavanjem i dekantacijom. Proces se izvodi u dekanterima i zgušnjivačima. Pri dekantiranju se usled sedimentacije mulja, obrazuje više zona, koje se međusobno razlikuju po odnosu čvrste i tečne faze. Obično nastaje pet zona. Prva zona je bistri aluminatni rastvor koji se u vidu preliva odvodi preko preliva i odgovarajućeg sistema otvora i žljeba, odvodi iz zgušnjivača. Ispod nje je zona slobodne sedimentacije u koju se inače i uvodi sveža pulpa. Naredne zone su međuzone, i na kraju se nalazi zona grabulja ili zona zgusnutog mulja odakle se mulj dalje odvodi.

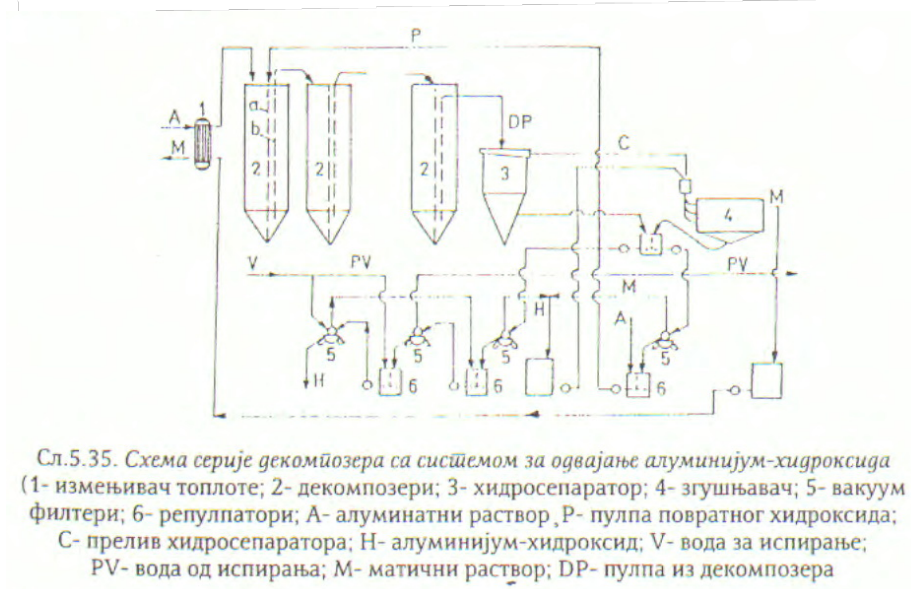
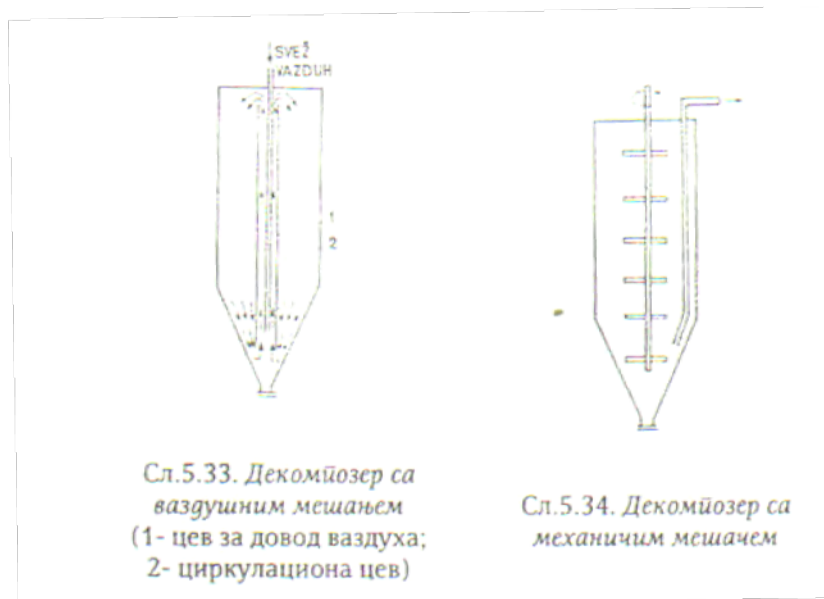


Сл.5.24. Једнокоморни згушњивач за црвени муљ

## Razlaganje aluminatnog rastvora-dekompozeri

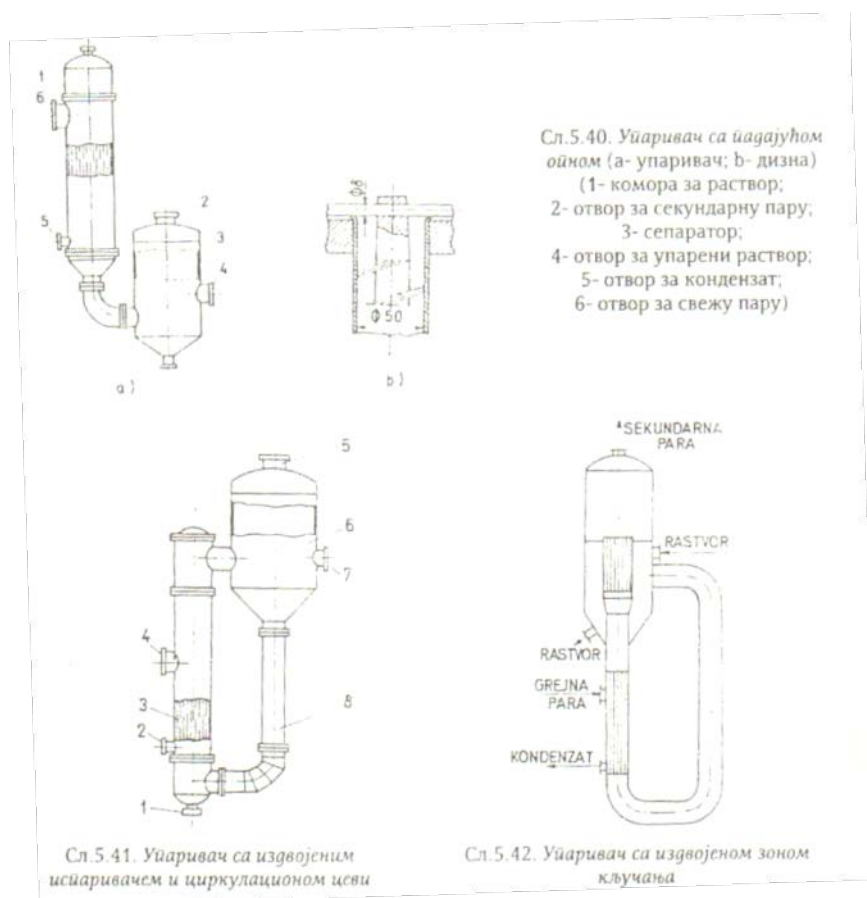
Kao osnovni uređaj za razlaganje aluminatnih rastvora koristi se dekompozer. U savremenim uslovima to je zatvoreni čelični sud, cilindričnog oblika sa konusnim dnom. Prečnika 7-12m, visine do 30m i zapreminom 3000-4000m<sup>3</sup>. Na gornjem delu dekompozera smešteni su: otvor za šaržiranje rastvora i aluminijum hidroksida, uređaj za mešanje suspenzije i otvor sa odvodnim kanalom za prebacivanje suspenzije u drugi dekompozer, kada su vezani u seriji. Na donjem, konusnom delu, nalazi se otvor za

празнjenje dekompozera. Zavisno od vrste mešanja suspenzije koriste se dva tipa dekompozera. Prvi tip je sa mešanjem vazduhom pomoću tzv. aerolifta. To su dve vertikalne cevi koaksijalno postavljene po osi dekompozera. Princip rada aerolifta i mešanja se sastoji u tome što se posle punjeja dekompozera aluminatnim rastvorom i pulpom povratnog aluminijum hidroksida, kroz unutrašnju cev, ubacuje vazduh pod pritiskom. Vazduh se na izlaznom delu cevi meša sa suspenzijom i gradi smešu koja je po gustini manja od preostale suspenzije. Iz tih razloga smeša se podiže u radni proctor između spoljašnje i unutrašnje cevi i sa sobom povlači susedne slojeve suspenzije, obrazujući njeno neprekidno kružno kretanje(mešanje).



## Упараванје повратног раствора у упаривачким батеријама

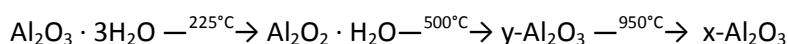
Упараванје повратног раствора изводи се у вишестепеним упаривачким батеријама међусобно повезаних упаривача, у којима се сваки појединачни упаривач представља један степен упаривања. Раствор пролази од првог до последњег упаривача у батерији. У сваком од њих се одстранjuje део воде, а сразмерно томе повећава концентрација раствора, до коначне вредности у последњем упаривачу. Загревање раствора у првом упаривачу се врши примарном паром (из енергана), а у осталима секундарном паром образаваном у одговарајућем претходном упаривачу. Број упаривача у батерији је у пракси ограничен и износи 4-5. Доби се упариле велике количине раствора неопходни су упаривачи са великом грејном површином. У фабрикама за производњу глинце користе се различити и то: мембрански, са природном или принудном циркулацијом раствора. Шире примену има упаривач мембранског типа са пенућом опном раствора. Раствор који се упуцаје на упаривање додаје се у упаривач у отвор у доњу комору за раствор. Упаривачке цеви попуњавају се раствором до  $1/4-1/5$  висине. Када се достигне температура кључања у раствору се образују мехурићи паре који крећући се навише повлаче са собом раствор, који се у танком слоју распоређује по унутрашњим зидовима цеви. При овим условима, коефицијент преноса топлоте на раствор је велики, што доводи до интензивнијег испаривања него код упаривача са централном цеви. Створена емулзија паре и течности доспева у сепаратор где се течност одваја од паре. Секундарна пара иде кроз cevовод, а концентровани раствор се изводи кроз отвор у следећи упаривач, или као коначно упарени раствор.



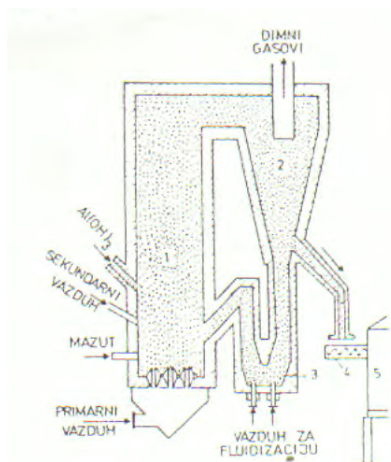


## Kalcinacija aluminijum-hidroksida

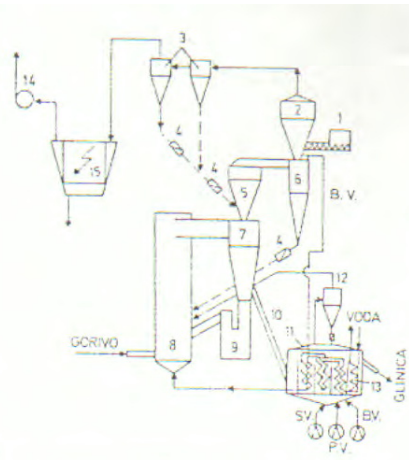
Kalcinacija aluminijum-hidroksida je završna faza u tehnologiji dobijanja glinice, ne samo po Bayerovom postupku nego i po svim ostalim postupcima njenog dobijanja. To je složen process. U osnovi sastoji se od dehidratacije vode i strukturnih transformacija. Ima za cilj da prevede polazni hidroksid, u stabilnu bezvodnu glinicu. Obadva tehnološka procesa, dehidratacije i strukturne promene odvijaju se zagrevanjem aluminijevog hidroksida. Pokazatelji kalcinacije su čistoća, krupnoća i mineraloški sastav, tj. fazni oblik glinice. Eksperimentalna ispitivanja pokazala su da i krupnoća glinice zavisi od krupnoće polaznog hidroksida i da se u procesu kalcinacije praktično ne menja. Mineraloški oblik glinice zavisi od temperaturne oblasti i vremena zagrevanja. Na osnovu mnogobrojnih istraživanja može se prihvatiti da se hemijsko-fazne transformacije pri kalcinaciji  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ili  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  odigravaju po sledećoj pojednostavljenoj šemi:



Šema pokazuje da se odstranjivanje vode iz polaznog hidroksida odvija u dva stepena. Prvo se pri temperature od  $225^\circ\text{C}$  udaljavaju dva molekula vode, s prelaskom hidrargilita u bemit, a potom na  $500^\circ\text{C}$  dolazi do udaljavanja zadnjeg trećeg molekula vode, pri čemu se bemit transformiše u bezvodni  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Prema tome na temperaturama većim od  $500^\circ\text{C}$  je već prisutna bezvodna glinica. Takva glinica nije pogodna za elektrolizu jer je hidroskopska i disperzna. Da bi se to izbeglo, žari se na  $950^\circ\text{C}$  pri čemu počinje da se odigrava njena transformacija u stabilni, nehidroskopski i po krupnoći optimalniji aluminijum-oksidi. Radi opšte i potpunije transformacije kalcinacija se vrši na  $1200\text{--}1250^\circ\text{C}$ .



Сл.5.47. Пећ за калцинацију алуминијум-хидроксида у циркулационом флуидизационом слоју (1- пећ; 2- циклон за рецикулацију; 3- флуидизациони слој; 4- уређај за пражњење глинице; 5- хладњак)



Сл.5.48. Схема постројења за калцинацију алуминијум-хидроксида у циркулационом флуидизационом слоју: 1- уређај за шаржирање  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; 2- сушница типа "Вентури"; 3, 6- циклон; 4- додавач; 5- предгрејач типа "Вентури"; 7- рецикулациони циклон; 8- пећ са флуидизационим слојем; 9- затварач флуидног слоја; 10- регулациони додавач; 11- хладњак флуидног слоја; 12- димњак; 13- водено хлађење; 14- вентилатор; 15- електрофилтар; SV- секундарни ваздух; PV- примарни ваздух; BV- бајпасни ваздух

U novije vreme kalcinacija se izvodi u pećima sa fluidizacionim slojem. Pore peći postoje i dva sistema ciklonskih izmenjivača. Aluminijum-oksidi, dehidratirani i zagrejeni na 650°C u prvom sistemu ciklonskih izmenjivača pomoću gasova kalcinacije, dospeva u struju toplog vazduha, koji izlazi iz sistema izmenjivača za hlađenje glinice. Struja toplog vazduha sa visokim sadržajem glinice zatim se preko brenera, zajedno sa gorivom, tangencijalno ubacuje u peć. U peći dolazi do brze predaje toplote česticama koje se nalaze lebdećem stanju. Istovremeno glinica se odvaja od gasova i taloži u donji deo peći i obrazuje fluidizacioni sloj, u kome se odigrava proces fazne transformacije. Vazduh uduvan sa donje strane peći obezbeđuje odgovarajuće kretanje materijala, usle čega se postiže ravnomernost temperature u sloju i stabilnost strujanja kalcinisanog produkta u sistemu izmenjivača za njegovo hlađenje. Kalcinisana glinica hladi se u drugom sistemu izmenjivača toplote koji rade pod pritiskom. Pregrejan vazduh se, kao što je rečeno ubacuje u ciklonosku peć, dok se gasovi potom odprašuju i ispuštaju kroz dimnjak u atmosferu.

### **Kaustifikacija povratne sode**

Izdvojena soda pri uparavanju povratnih rastvora može se podvrgavati procesu kaustifikacije u cilju regeneracije rastvora. Injegovog ponovnog korišćenja za potrebe proizvodnje glinice. Kaustifikacije se izvodi tretiranjem rastvora sode krečom, pri čemu je u osnovi procesa prisutna reakcija između natrijum-karbonata i kalcijum-hidroksida. Ova reakcija je povratna i pravac njenog odigravanja zavisi od odnosa rastvorljivosti kalcijum-karbonata i kalcijum-hidroksida. U početku procesa, u odsustvu NaOH, rastvorljivost kreča je veća nego kalcijum-karbonata, pa se reakcija odvija s leva na desno.

U novije vreme kaustifikacija se ne izvodi, jer se sprečava njena kristalizacija pri uparavanju povratnog aluminatnog rastvora, tako što se dodaje kreč u vodu za ispiranje crvenog mulja i time održava koncentracija sode u dozvoljenim granicama.

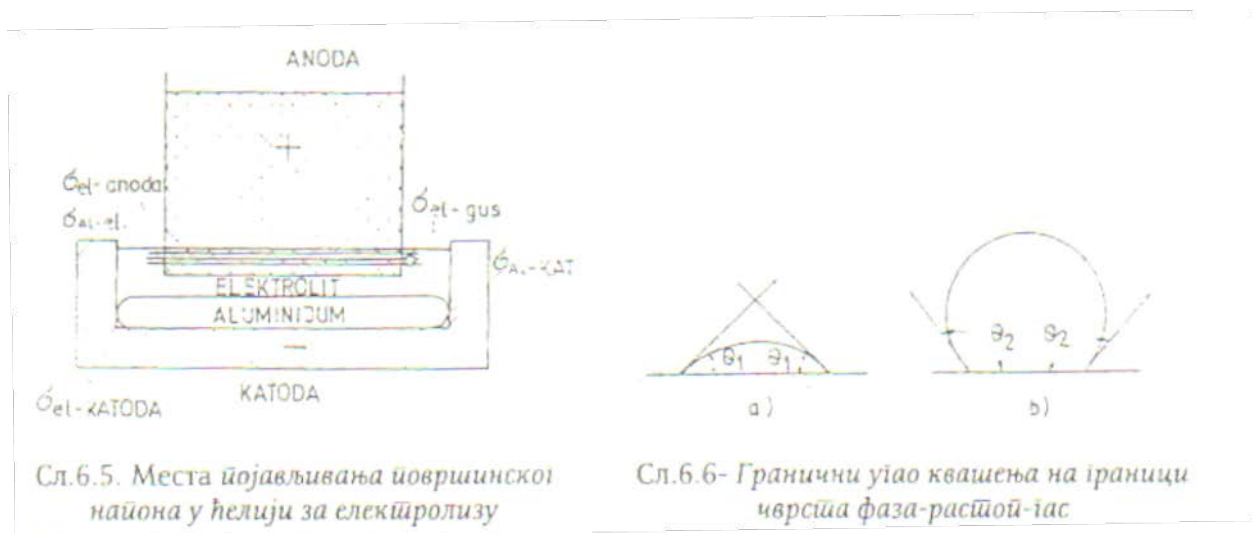
### **Opsluživanje elektrolizera-osnovne tehnološke operacije**

#### **procesa elektrolize**

Posle puštanja i uvođenja u optimalni tehnološki režim, počinje period normalnog eksploatacionog rada elektrolizera. U tom periodu opsluživanje elektrolizera sastoji se u izvođenju sledećih tehnoloških operacija:

- 1)probijanje elektrolitičke kore i unošenja (šaržiranje) glinice u elektrolizer
- 2)zamene anoda i regulisanja rastojanja između elektroda
- 3)izlivanja tečnog aluminijuma
- 4)korigovanja sastava i količine elektrolita





### Unošenje (šaržiranje) glinice u elektrolizer

Pri normalnom radu elektrolizera, na površini elektrolita se obrazuje čvrsti slojelektrolita tzv. elektrolitička kora. Obrazovana kora je u ravnoteži sa tečnim elektrolitom. Na očvrslu koru elektrolita postavlja se glinica, gde se ona do unošenja u elektrolit prosušuje i predgreva. Unošenje glinice u elektrolit izvodi se probijanjem kore i njenim uranjanjem u tečni elektrolit zajedno sa glinicom sadržanom u kori. Posle unošenja glinice, na površini rastopa elektrolita se ponovo obrazuje tanak sloj očvrslе kore i na njega nasipa nova porcija glinice. Do elektrolizera glinica se može transportovati na različite načine: sa bunkeroima postavljenim na elektrokarama, sa autocisternama ili bunkerima koji su postavljeni zajedno sa uređajem za probijanje kore na portalne ili konzolne kranove. Iz bunkera se glinica ispušta gravitacijom ili pneumatski.

### Zamena anoda i regulisanje rastojanja između elektroda

U procesu elektrolize anode se troše sagorevanjem ugljenika sa kiseonikom izdvojenim anodnom reakcijom. Iz tih razloga istrošena anoda tzv. odgorak anoda, zamenjuje se novom anodom. Zamena se izvodi pre nego što čelični čepovi anodnog sklopa dođu u dodir sa rastopom elektrolita, a to odgovara debljini tela anode koji nije odgoreo 2-3 cm. Anoda se zamenjuje po tačno definisanom planu, što znači da anoda mora ostati u elektrolizeru tačno određeno vreme, koje se naziva vremenom ciklusa anode. Ravnomeran i pravilan raspored anoda postiže se zamenom istrošenih anoda po principu šahovskog polja, odnosno tako da nove i istrošene anode budu poređane naizmenično: nova-istrošena...

### Regulacija rastojanja između anoda

Kod savremenih elektrolizera u zavisnosti od gustine anodne sruje i toplotne izolacije, rastojanje između anoda i površine sloja aluminijuma na dnu elektroliza iznosi oko 5 cm. Ovo rastojanje određuje visinu sloja elektrolita i igra važnu ulogu u održavanju toplotnog režima i normalnih temperaturnih uslova procesa elektrolize. Njegovo povećanje, pri ostalim neizmenjenim uslovima, dovodi do pregrevanja, a smanjenje do hlađenja elektrolita.

## **Izlivanje aluminijuma**

Pri izlivanju aluminijuma se ne izliva sav aluminijum iz elektrolizera, već se ostavlja njegova znatna količina. Razlozi za to su višestruki: 1) zaostali metal štiti katodno dno od oštećenja i rušenja, 2) tečni metal ispunjava neravnine katodnog dna, što olakšava regulaciju rastojanja između elektroda i poboljšava uslove izvođenja procesa i 3) sloj metala olakšava ravnomernu raspodelu toplote po površini poprečnog preseka elektrolizera. Izlivanje aluminijuma iz elektrolizera se obavlja upotrebom vacuum lonca za livenje, kojim se rukuje uz pomoć kрана. Vakuum lonac se sastoji od radnog prostora izrađenog od čeličnog lima, zaštićenog sa unutrašnje strane ožidom od šamotne opeke; cevi od livenog železa, koja se uranja u elektrolit u sloj metala; poklopca i kljuna. odnosno otvora za izlivanje metala iz lonca. Uz elektrolizera metal se u lonac usisava uz pomoć vakuuma. Pre korišćenja lonac se progrijava. Izlivanje se izvodi tako što se prvo na elektrolitičkoj kori probija otvor ina tom delu elektrolit čisti od komada kore, ugljene pene i glinice. posle toga se u otvor elektrolita uranja cev vacuum lonca i uključuje komprimovani vazduh radi stvaranja vakuuma pomoću ejektora. Usisavanje metala se prati pomoću okna na poklopcu lonca. Istovremeno, metal se meri pomoću vage ugrađene na kранu.

## **Korigovanje sastava i količine elektrolita**

Sadržaj elektrolita koriguje se na osnovu određivanja njegovog hemijskog sastava, odnosno njegovog kriolitnog odnosa. Uzorci elektrolita se obično uzimaju i analiziraju svakog drugog dana. Za analizu se koriste različite metode: kolorimetrijska, kristalooptička, difraktometrijska i hemijske metode. Količine NaF i  $AlF_3$  se na osnovu dobijenih rezultata koriguju primenjujući posebne jednačine. Količina elektrolita u elektrolizeru mora takođe da bude konstantna, što zahteva nadoknadu njegovih gubitaka. Gubici se nadoknađuju dodavanjem svežeg kriolita ili povratnog kriolita od čišćenja.

## Sadržaj

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| OSObine ALUMINIJUMA.....                                                                         | 1  |
| MINERALI i RUDE ALUMINIJUMA .....                                                                | 2  |
| Rasprostranjenost aluminijuma u prirodi .....                                                    | 2  |
| Rude aluminijuma .....                                                                           | 2  |
| Boksiti.....                                                                                     | 2  |
| Nefelini.....                                                                                    | 3  |
| Aluniti.....                                                                                     | 3  |
| Kaolini .....                                                                                    | 3  |
| Osobine industrijske glinice za elektrolitičko dobijanje aluminijuma .....                       | 3  |
| Klasifikacija postupaka za dobijanje glinice .....                                               | 3  |
| BAYEROV POSTUPAK ZA DOBIJANJE GLINICE.....                                                       | 4  |
| Tehnološka šema Bayerovog postupka .....                                                         | 4  |
| Ciklus Bayerovog postupka u sistemu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-N}_2\text{O-H}_2\text{O}$ ..... | 6  |
| Priprema boksita .....                                                                           | 6  |
| Skladištenje i homogeniziranje.....                                                              | 6  |
| Usitnjavanje boksita.....                                                                        | 7  |
| Luženje boksita.....                                                                             | 7  |
| Ponašanje aluminijuma:.....                                                                      | 8  |
| Ponašanje silicijuma:.....                                                                       | 8  |
| Karakteristike autoklava .....                                                                   | 9  |
| Karakteristike ekspandera (uparivača) .....                                                      | 10 |
| Razblaživanje autoklavne pulpe, odvajanje i .....                                                | 11 |
| ispiranje crvenog mulja.....                                                                     | 11 |
| Razlaganje aluminatnog rastvora-dekompozeri.....                                                 | 11 |
| Uparavanje povratnog rastvora u uparivačkim baterijama .....                                     | 13 |
| Kalcinacija aluminijum-hidroksida.....                                                           | 14 |
| Kaustifikacija povratne sode .....                                                               | 15 |
| Opsluživanje elektrolizera-osnovne tehnološke operacije.....                                     | 15 |
| procesa elektrolize .....                                                                        | 15 |
| Unošenje (šaržiranje) glinice u elektrolizer.....                                                | 16 |
| Zamena anoda i regulisanje rastojanja između elektroda .....                                     | 16 |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Regulacija rastojanja između anoda .....         | 16 |
| Izlivanje aluminijuma .....                      | 17 |
| Korigovanje sastava i količine elektrolita ..... | 17 |

#### Korišćena literatura:

#### -Teorija i praksa dobijanja obojenih metala-

Rajko Ž. Vračar

**Posetite nas klikom na sajtovima ispod:**

[SEMINARSKI RADOVI](#)    [DIPLOMSKI](#)    [MATURSKI RAD](#)

[SEMINARSKI](#)    [DIPLOMSKI RAD](#)    [SEMINARSKI](#)

[ESEJI](#)    [FACEBOOK SEMINARSKI](#)

*Uspostavljanjem ovog projekta, zadovoljila se i veoma prisutna potreba za specijalizovanim timom, koji će na studente i omladinu pravovremeno i adekvatno delovati u edukativnom i pozitivno usmeravajućem pravcu, ali i predstavljati efikasnu podršku u pisanju sopstvenih radova (seminarskih, maturski, maturalskih, diplomskih, master, magistarskih, doktorskih, eseja .....)*

*TIM VRHUNSKIH PREVODILACA PREVODI ZA VAS SA I NA SLEDEĆE JEZIKE:*

*ENGLESKI, FRANCUSKI, ŠPANSKI, NEMAČKI, ITALIJANSKI*

