

## RAZVOJ SAVREMENIH POSTUPAKA DOBIJANJA OLOVA

### DEVELOPMENT OF CONTEMPORARY PROCEDURES FOR LEAD OBTAINING

BRANISLAV NIKOLIĆ\*, MIROSLAV SOKIĆ\*\*,  
ŽELJKO KAMBEROVIĆ\*\*\*

\* *Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd,*

\*\* *Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd,*

\*\*\* *Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*

Priljeno: 04. 10. 2004.

#### IZVOD

Savremeni postupci prerade olovnih koncentrata poslednjih decenija su imali različit razvoj i ekspanziju. Za sve je zajedničko da se reakcije topljenja odvijaju u suspenziji čvrsto-gas i da se kao produkti topljenja dobijaju metalno olovo i šljaka, koji zajedno odlaze iz elektropeći na dalju preradu. Termodinamičkom analizom savremenih postupaka direktnog topljenja olovnih koncentrata, određeni su uslovi pod kojima je moguće u jednom agregatu proizvesti metalno olovo i šljaku. Karakteristike i tok procesa direktnog topljenja određuju se odnosom kiseonik-koncentrat koji diktira sadržaj olova u šljaci, sadržaj sumpora u sirovom olovu i distribuciju pratećih metala. Od savremenih postupaka proizvodnje olova značajniju industrijsku primenu su našli KIVCET i Boliden TBRC. Osim njih, razvijeni su i u manjem obimu primenjeni još QSL, Siros melt, Outokumpu, Kominko, Noranda i St. Jozef postupak.

**Ključne reči:** savremeni postupci dobijanja olova, termodinamika, mehanizam

#### ABSTRACT

Contemporary procedures of lead concentrates treatment were in different expansion during last thirty years. All procedures have in common the following: smelting reaction proceeds in solid-gas suspension, melting products are metallic lead and slag, which are leaving electric furnace together. The conditions for production metallic lead and slag in one furnace are determined using thermodynamic analysis of contemporary direct smelting procedures. The characteristics and progress of direct smelting process are determined using oxygen/concentrate ratio, which influences the lead content in slag, sulphur content in bullion and the following metals distribution. The KIVCET and Boliden TBRC are contemporary procedures that found their place in industry. Besides, the QSL, Siros melt, Outokumpu, Kominko, Noranda and St Jozef are processes which are developed and applied.

**Key words:** contemporary procedures for lead obtaining, thermodynamics, mechanism

## UVOD

Pirometalurški postupci prerade olovnih sulfidnih koncentrata baziraju se na korišćenju visokih temperatura (iznad temperature topljenja olova), potrebnih za odvijanje odgovarajućih reakcija, kojima se olovo prevodi u tečno elementarno stanje, a jalovinski metali u šljaku. Od pirometalurških postupaka najpoznatiji su: reakciono topljenje, taložno topljenje, redukciono topljenje u šahtnoj peći i savremeni postupci za dobijanje olova [1-4].

Postupak reakcionog topljenja zasniva se na uzajamnom reagovanju olovnog sulfida i olovnih oksidnih jedinjenja sa dobijanjem metalnog olova. Postupak taložnog topljenja bazira na većem afinitetu železa prema sumporu u odnosu na olovo i nije našao primenu u industrijskoj praksi.

Postupak redukcionog topljenja u šahtnoj peći se temelji na sposobnosti ugljenika i ugljen-monoksida da redukuju olovo iz oksida. Postupak je zadovoljavajuće selektivan i tehnološki jednostavan, ali zahteva prethodno oksidaciono prženje sulfidnih olovnih koncentrata u cilju prevođenja stabilnog PbS u lako reduktivni PbO. Oksidacija sulfida do oksida praćena je obrazovanjem SO<sub>2</sub>, koji zajedno sa prašinom prelazi u procesne gasove. Iz ovih razloga, a u cilju zaštite životne sredine i valorizacije korisnih komponenata, postupak dobijanja olova redukcionim topljenjem u šahtnoj peći obavezno uključuje postrojenja za otprašivanje gasova i za proizvodnju H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Do 1980. god. oko 90% svetske proizvodnje olova obavljalo se postupkom redukcionog topljenja u šahtnim pećima. Osnovni nedostaci ovog postupka su:

- potreba prethodnog oksidaciono-aglomeracionog prženja koncentrata, kao posebne procesno-operativne faze postupka,
- nedovoljna hermetičnost postrojenja,
- nerešeni ekološki problemi i prisustvo zagađivanja životne sredine i dr.

Neophodno je posebno naglasiti da su olovo i mnoga njegova jedinjenja lakotopivi, visokoisparljivi i jako toksični. Sličnih su osobina i mnogi prateći metali u koncentratima olova (arsen, antimon, cink, kadmijum, sumpor), što prouzrokuje posebne probleme u zaštiti vazduha i zemljišta od zagađivanja.

Iz navedenih razloga prisutna su poslednjih decenija intenzivna istraživanja, koja su dovela do ekspanzije savremenih postupaka dobijanja olova, za koje je karakteristično sledeće:

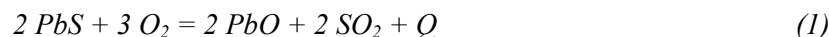
- direktno topljenje koncentrata olova, uz istovremenu oksidaciju u cilju prevođenja sumpora u okside,
- izvođenje topljenja u elektropećima, koje čine zatvoren sistem,
- upotreba kiseonika radi intenzifikacije procesa,
- korišćenje sumpora iz koncentrata kao goriva i sirovine za proizvodnju H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,
- hermetizacija postrojenja i čitavog proizvodnog sistema,

- dobijanje procesnih gasova sa visokim sadržajem sumpor-dioksida, što olakšava njegovu valorizaciju kroz sumpornu kiselinu ili tečni sumpor-dioksid,
- automatska regulacija procesnih parametara i samim tim sigurnije vođenje procesa, uz manje učešće ljudskog rada.

Novi postupci direktnog topljenja koncentrata u elektropeći naročito su pogodni za preradu koncentrata olova koji sadrže cink i bakar, jer omogućavaju njihovu veću valorizaciju.

### TERMODINAMIČKA ANALIZA DIREKTOG TOPLJENJA OLOVNIH KONCENTRATA

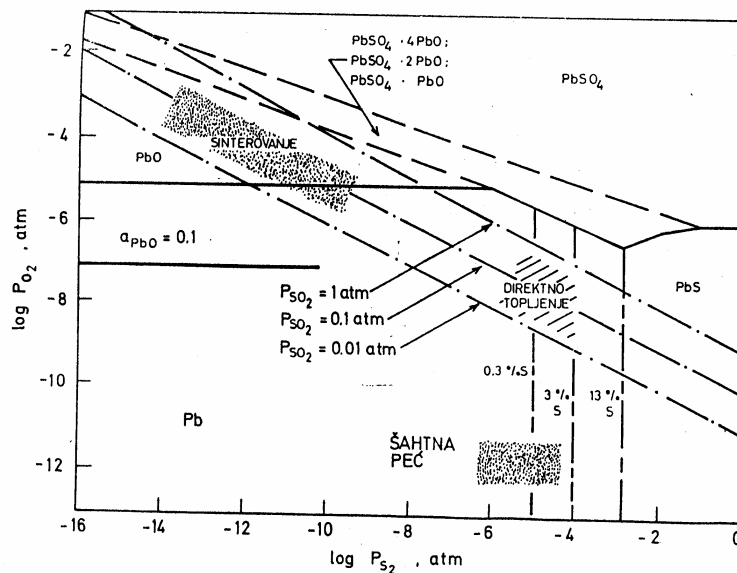
Proizvodi dobijeni oksidacijom PbS u raznim procesima topljenja olovnih koncentrata, mogu biti određeni prema dijagramu ravnoteže za sistem Pb-S-O (Slika 1) [5-6]. Kod konvencionalnog sinterovanja gde se olovni koncentrat oksidaciono prži do potpunog odstranjivanja sumpora iz rude, olovo je prisutno u obliku olovo-oksida, a dobijeno je prema reakciji:



Limitiranjem količine kiseonika moguće je dobiti metalno olovo kroz parcijalnu oksidacionu reakciju:



na kojoj baziraju procesi direktnog topljenja olovnih koncentrata.



Slika 1. Ravnotežni dijagram sistema Pb-S-O na 1200°C  
 Figure 1. Equilibrium diagram in the system Pb-S-O at 1200°C

Na slici 1 prikazano je da je na 1200°C metalno olovo stabilna faza čak i u čistoj SO<sub>2</sub> atmosferi, pod uslovom da je parcijalni pritisak kiseonika dovoljno nizak. Sa porastom temperature smanjuje se oblast stabilnosti metalnog olova. Na 800°C metalno olovo će preći u olovo-sulfat kod parcijalnog pritiska SO<sub>2</sub> od 1 kPa (0.01at). Sirovo olovo, nastalo prema reakciji 2, koje se taloži u koritu peći, sadržiće u rastvoru nešto sumpora, i biće u ravnoteži sa šljakom koja sadrži PbO i izvesnu količinu metalnog olova.

Proizvodi direktnih procesa topljenja olova biće u ravnoteži pod uslovom koji odgovaraju šrafiranoj površini na slici 1. Šljaka sa niskim sadržajem olova, za koju je potreban niski potencijal kiseonika, može se proizvesti samo na račun sirovog olova sa visokim sadržajem sumpora (2-3% S). U šahtnoj peći, otpadna šljaka sa niskim sadržajem olova dobije se zato što upotreba koksa obezbeđuje jako redukcionu atmosferu.

Do lokalne pre-oksidacije pri direktnom topljenju može doći prema reakciji 1 ili pak prema reakciji:



Pri 1200°C PbO i PbSO<sub>4</sub> će se sakupiti u šljaci, ili će pak, pod uslovom da ima dovoljno vremena, reagovati sa PbS prema reakcijama:



Na reakcijama 4 i 5 bazira postupak reakcionog topljenja kao jedan od najstarijih i prevaziđenih načina dobijanja metalnog olova.

### MEHANIZAM DIREKTOG TOPLJENJA OLOVNIH KONCENTRATA

U procesima direktnog topljenja do desulfurizacije dolazi delimično zbog naglog topljenja, a delimično zbog reakcije prženja. Na dijagramu ravnoteže Pb-S-O (Sl.1) prikazano je da u jednoj industrijskoj peći, gde je parcijalni pritisak kiseonika 1 kPa, stabilan proizvod oksidacije bio bi PbO ili PbSO<sub>4</sub>. U praksi, metalno olovo sadrži veći deo proizvoda reakcije, verovatno zbog dva razloga. U suspenziji čestica iznad korita, dolazi do reakcije u svakoj čestici. Kiseonik se obrazuje na razdelnoj površini reakcije i negov parcijalnoi pritisak može biti dovoljno nizak za formiranje metalnog olova. Stabilnost metalnog olova kao proizvoda delimične oksidacije osigurana je kratkim vremenom taloženja iz gasne faze i njegovim fizičkim razdvajanjem od gasne faze slojem šljake.

Čestice koncentrata koje su oksidisane do PbO i PbSO<sub>4</sub>, akumuliraće se u šljaci. Količina olova koja se javlja u obliku viših oksida određuje se i kinetičkim faktorima (granulometrija, vreme taloženja iznad korita, brzina gasa) i termodinamičkim faktorima (odnos: kiseonik: sumpor, temperatura). Stehio-

metrijski kiseonik odgovara oksidaciji PbS, FeS i ZnS u Pb, FeO i ZnO. Odstupanje od ove vrednosti dovešće do porasta ili viška olovo-oksida u šljaci ili viška sumpora u sirovom olovu. U praksi je teško održati tačan stehiometrijski odnos zbog normalnih fluktuacija u promenljivim vrednostima procesa, tako da će se tokom vremena PbO i PbS akumulirati u koritu. Kod većine savremenih procesa sastav proizvoda iz peći se reguliše odnosom kiseonik/sumpor. Na ovaj način može se dobiti šljaka sa niskim sadržajem olova, ali samo na račun viška sumpora u sirovom olovu. Ovaj trend je potvrđen analizama proizvoda iz raznih direktnih procesa topljenja olova.

Efikasnost reakcije prženja u velikoj meri se određuje delovanjem olovnih jedinjenja u šljaci, koje se, pak, određuje sastavom šljake. Stari procesi topljenja su se oslanjali na reakcije prženja i bili su efikasni samo sa visoko kvalitetnim koncentratima olova. Kada se desulfurizacija postiže prvenstveno u suspenziji u gasnoj fazi, direktno topljenje olova može se primeniti i na nisko kvalitetne koncentrate. Dalja desulfurizacija reakcijom prženja je teža. Ona se, međutim, može poboljšati, kao u Outokumpu procesu, time što će se povećanjem temperature u sirovom olovu povećati aktivnost PbS na razdelnoj površini šljaka-sirovo olovo.

Sadržaj olova u šljaci, proizvedenoj direktnim topljenjem, je funkcija parcijalnog pritiska kiseonika u peći za topljenje. Procene parcijalnog pritiska kiseonika u raznim procesima direktnog topljenja pokazuju da su povećani parcijalni pritisci kiseonika praćeni povećanim sadržajem olova u šljaci. I pored većeg sadržaja olova u šljaci iz direktnog topljenja nego u šljaci iz visokih peći, količina sirovog olova je slična onoj koja se dobija u visokim pećima. To je zbog toga što je razređivanje olovnog koncentrata šljakom iz visoke peći za sinterovanje sprečeno, što dovodi do smanjenog opadanja šljake u direktnom topljenju.

**Ponašanje pratećih metala.** U sulfidnim olovnim koncentratima, pored cinka, od pratećih metala gotovo uvek su prisutni Cu, Fe, As, Sb, Sn, Bi, Ag i Au [7]. Merenja raspodele pratećih metala između sirovog olova i šljake FeO-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pokazuju da se rastvaranje Pb, Cu, As, Sb i Sn u šljaci povećava sa povećanjem potencijala oksidacije sistema, dok na distribuciju Bi i Ag ne utiče parcijalni pritisak kiseonika. U Boliden i Outokumpu procesima, gde su uslovi blago oksidacioni, prateći metali se sakupljaju u sirovom olovu. Veoma jaki oksidacioni uslovi kod Cominco procesa dovode do stvaranja mekog olova sa sadržajem antimona ispod 0,002% i malim sadržajem bakra.

**Recirkulacija prašine.** Količina prašine koja recirkuliše je u većini procesa direktnog topljenja veća nego kod topljenja u visokim pećima. Količina stvorene prašine uslovljena je mehaničkim faktorima (granulometrijski sastav, brzina gasa, konstrukcija peći i dr) i fizičko-hemijskim faktorima (pritisak pare olova i njegovih jedinjenja). Velika količina prašine koja recirkuliše u Boliden procesu rezultat je: (a) blago oksidacionih uslova koji potpomažu prisustvo PbS pare u gasu iznad korita, i (b) gubitka pare olova i cinka fjumingovanjem troske

u blizini elektroda. Recirkulacija prašine u Outokumpu procesu se svodi na minimum usled konfiguracije peći koja prisiljava ulazne i izlazne gasove da promene smer. Korišćenje kiseonika u Kominko procesu smanjuje količinu prašine koja recirkuliše zbog smanjene zapremine izlaznih gasova.

**Habanja vatrostralnog omotača.** Šljaka sa visokim sadržajem PbO je uglavnom agresivna za vatrostralni materijal. Habanje vatrostralnog materijala je veće kod topljenja sa imerzionim mlaznicama, kao što je slučaj kod St. Joseph procesa, gde najduže delovanje uključuje vreme duvanja od samo 60 časova zbog erozije vatrostralnog materijala na liniji mlaznica. Kod Outokumpu i Kominko procesa nisu registrovani problemi u vezi sa vatrostralnim materijalom. Kod ovog zadnje pomenutog procesa, temperatura korita je visoka (dostiže 1300°C) i šljaka može da sadrži preko 50% PbO. Habanje vatrostralnog materijala je umereno kada se topljenje odvija u velikoj meri iznad korita, jer je šljaka na zidovima peći slabo pokretna.

**Zahtevi za energijom.** Kod direktnog topljenja olovnih koncentrata manji je utrošak energije u odnosu na preradu konvencionalnim postupkom u šahtnoj peći [8-9]. Do ovog smanjenja dolazi usled korišćenja toplote egzotermne reakcije oksidacije sumpora što eliminiše potrebu za koksom.

### POSTUPCI DIREKTNOG TOPLJENJA OLOVNIH KONCENTRATA

Savremeni postupci prerade olovnih koncentrata poslednjih tridesetak godina su imali različit razvoj i ekspanziju [10]. Od savremenih postupaka najširu industrijsku primenu su našli KIVCET i Boliden TBRC. Osim njih, u savremene postupke prerade olovnih koncentrata spadaju još QSL, Siros melt, Outokumpu, Kominko, Noranda i St. Jozef i primenjuju se u manjem obimu.

**KIVCET postupak.** KIVCET postupak [11-13] se zasniva na racionalnoj primeni tehnološkog kiseonika, ciklonskom topljenju koncentrata u lebdećem stanju i elektrotermičkoj doradi obrazovanog rastopa metala. Zavisno od konkretnih uslova, postoji više varijanti ovog postupka:

- KIVCET CS za preradu koncentrata olova sa povećanim sadržajem cinka,
- KIVCET LZ za preradu koncentrata olova sa povećanim sadržajem bakra i dr.

Razvijen je u SSSR, a kasnije je KHD Humboldt Wedag AG, Keln, Nemačka dobio licencno pravo da ga plasira u svetu i radi na njegovom usavršavanju. Osim u Rusiji, KIVCET postupak je industrijski primenjen u Boliviji (Potosi), zatim u Italiji (Porto Vesme), u Kazahstanu (Čikment) itd. Dosadašnja industrijska praksa je pokazala opravdanost primene ovog postupka.

U odnosu na klasičan postupak redukcionog topljenja u šahtnoj peći ovaj postupak ima sledeće prednosti:

- kompleksno korišćenje metala i sumpora,

- smanjenje troškova za zaštitu životne sredine za 3-4 puta na račun smanjenja količine tehnoloških ventilacionih gasova,
- smanjenje troškova goriva 1.5-2 puta, a ostalih troškova za 15-20%,
- povećanje produktivnosti rada 1.5-2 puta.

KIVCET CS postupak ima i određenih nedostataka, kao što su:

- osetna količina prašine, koja mora da se recirkuliše i
- korišćenje specijalnih materijala za procesne agregate.

**Boliden TBRC postupak.** Tehnologiju elektrotermičkog direktnog topljenja olovnih koncentrata, švedska firma "Boliden" primenila je još 1965. godine u topionici Ronskar. Početkom 1976. god. u istoj topionici počelo se sa preradom povratnih bakarno-olovnih prašina u postrojenju TBRC (top blown rotary converter) koje se u Švedskoj zove kaldo-konvertor ili kaldo-tehnologija.

Po Boliden TBRC tehnologiji, krajem osamdesetih godina puštena je u rad topionica i rafinerija olova i cinka u Iranu – NILZ, sa godišnjom proizvodnjom oko 40000 t rafinisanog olova i 12 t anodnog srebra. Iz tog razloga se može konstatovati da je novi postupak korišćenja rotacionog kaldo-konvertora našao industrijsku primenu, naročito za koncentrate sa različitim sadržajem olova. Po ovom Boliden TBRC postupku [14], u prvoj fazi koncentrat i topitelji se tope na oko 1100°C, uz uduvanje kiseonika i vazduha, pri čemu sulfidi prelaze u okside i dobijaju se oksidni rastop i SO<sub>2</sub> gas. U drugoj fazi se primenjuje redukcija koksnom prašinom, pri čemu nastaje olovni sirovo olovo sa 99.5% Pb i šljaka sa 1-2% Pb. Procesni gasovi se prečišćavaju, a međuprodukti – šljake iz rafinerije olova i muljevi filter-presa vraćaju u proces na preradu.

Ukupno potrebna energija za ovaj TBRC postupak je 400 kwh po toni koncentrata što je tri puta manje u odnosu na postupak u Ronskaru, a pet puta manje u odnosu na klasičan postupak prerade olovnih koncentrata. Količina gasova koji se prečišćavaju manja je oko četiri puta u odnosu na preradu koncentrata u elektropeći.

**Sirosmelt postupak.** Sirosmelt tehnologija prerade olovnih koncentrata [1] je razvijena u CSIRO-ovom odeljenju za mineralni inženjering u Australiji. Olovni koncentrat vlažnosti 10-12%, sa topiteljima i povratnom prašinom, uduvava se kroz šuplje koplje u vertikalnu peć u kojoj se izvodi redukcija. Vrh koplja je zaronjen u rastopljeni šljaku u centru peći.

Doziranje šarže, goriva i kiseonika u unutrašnjost tečne šljake stvara veoma turbulentne uslove u kupatilu, koji potpomažu brze reakcije što povećava topionički kapacitet agregata. Odličan kontakt između šljake i procesnih gasova takođe dopušta visoku efikasnost goriva.

Glavne prednosti Sirosmelt tehnologije su kontrolisano upravljanje brzinom procesa i njena sposobnost da prihvati širok asortiman šarže peći od lomljene rude, mešanih materijala do finih koncentrata ubrizganih kroz koplje.

Sirosmelt tehnologija usavršena je u Ausmelt postupak koji je komercijalno dokazan.

**QSL postupak.** QSL postupak za kontinualno topljenje olovnih koncentrata [15-17] zasniva se na autogenoj nagloj oksidaciji koncentrata praćenoj

ubrizgavanjem kiseonika u korito. Reaktor je dugačka peć sa kružnim presekom sa protiv-strujnim protokom sirovog olova i šljake. Prednosti ovog postupka su:

- odigravanje procesa u jednom agregatu (reaktoru),
- moguć rad i sa vlažnom šaržom (10-12% vlažnosti),
- niska temperatura u reaktoru,
- visoko iskorišćenje na olovu i mala količina šljake,
- rad sa koncentratima olova različitog kvaliteta (45-75% Pb).

Troškovi prerade koncentrata po ovom postupku manji su za oko 30% od prerade po klasičnom postupku.

**Outokumpu postupak.** Finski postupak Outokumpu [18] je industrijski primenjiv, naročito za veliki kapacitet i preradu koncentrata različitog sastava, pri čemu je iskorišćenje olova 95-99% zavisno od kvaliteta koncentrata, a utrošak energije 180 kwh/t koncentrata.

Koncentrat olova, osušen na manje od 0,1% vlage, i topitelji, ubrizgavaju se u donji deo šahta za topljenje koristeći pregrejani vazduh. Topljenje se vrši u suspenziji, a olovni sirovo olovo sa 2% S i šljaka sa 15% Pb kao produkti topljenja izlivaju i obrađuju u posebnoj peći sa hlađenim dnom. Finalni proizvodi iz separacione peći su šljaka sa 2% Pb, bakarni kamenac i hladno sirovo olovo praktino bez sumpora.

**Kominko postupak.** Kominko proces [19] koristi vertikalno koplje za injektiranje koncentrata u stacionarnu peć za topljenje. Procesni gas koji se koristi je obično čist kiseonik i procenjuje se da temperatura delovanja plamena prelazi 1500°C što dovodi do veoma brzog odvijanja reakcije prženja. Šljaka koja se proizvede sadrži 35-55% Pb, a sirovo olovo manje od 0,3% S. Visoki sadržaj Pb u šljaci omogućava fluidnost i obezbeđuje sadržaj sumpora ispod 0,5%. Korišćenje kiseonika (min. 97% O<sub>2</sub>) omogućava održavanje potrebne temperature u koritu peći kod Kominko postupka.

**St. Jozef postupak.** St. Jozef postupak [20] bazira na metodi imerzionog topljenja olovnog koncentrata u konvertoru. Koncentrat se ubacuje sa vazduhom kroz mlaznice u olovnu otopinu. Brzina protoka vazduha određuje se na osnovu potrebne količine kiseonika za prevođenje PbS iz koncentrata u metalno olovo. Nakon toga predložen je postupak imerzionog topljenja sličan prethodnom, kod koga se ugajl injektira zajedno sa koncentratom.

**Noranda postupak.** Noranda je patentirao postupak za direktno topljenje olova [21] koji predstavlja nastavak Noranda procesa za bakar. Paletiziran koncentrat se dovodi na površinu korita koje se nalazi u jednom izduženom reaktoru. Procesni vazduh se uvodi kroz horizontalne imerzione duvnice i dolazi do progresivne prerade celom dužinom peći sa protivstrujnim protokom metala i šljake.

**Hidrometalurški postupci.** Kod pirometalurških procesa prerade olovnih koncentrata postoji problem hlađenja i prečišćavanja gasova i zaštite sredine od



zagađenja. Iz ovih razloga vrše se ispitivanja prerade olovnih koncentrata hidrometalurškim postupcima, kao, npr:

- autoklavno-redukциони postupak na 250-350°C, pri korišćenju rastvora NaOH, uz uduvanje vodonika kao reducenta,
- luženje koncentrata u hloridnim rastvorima železa (75 g/l FeCl<sub>3</sub>) natrijuma (250 g/l NaCl), a zatim se, iz dobijenog PbCl<sub>2</sub>, elektrolizom dobija metalno olovo,
- luženje koncentrata olova u rastvoru azotne kiseline, sa elektrolizom rastvora PbNO<sub>3</sub> i dobijanjem olova
- luženje koncentrata olova vodom pri veoma visokom pritisku (25-30 MPa) itd.

Međutim, kod svih hidrometalurških postupaka javlja se problem antikorozivnih materijala, specijalnih pribora, prečišćavanja otpadnih voda, zaštite radnika od toksičnih para, osetan utrošak energije i dr.

Cilj svih savremenih postupaka jeste dobijanje sirovog olova u jednostavnijim, hermetizovanih topioničkim metalurškim agregatima, a sirovo olovo se zatim otprema u rafineriju olova radi dobijanja komercijalnog rafinisanog olova, olovnih legura i drugih proizvoda pratećih metala.

## ZAKLJUČAK

U Pb-S-O sistemu metalno olovo je stabilna faza pri temperaturama iznad 1100°C i pri parcijalnom pritisku SO<sub>2</sub> manjem od 100 kPa. Ovaj termodinamički princip se može primeniti kod topljenja sulfidnih olovnih koncentrata da bi se u jednoj fazi proizvelo metalno olovo i šljaka.

Savremeni procesi direktnog topljenja olova kod kojih do reakcije u velikoj meri dolazi u suspenziji čvrsto-gas, mogu se primeniti i na niskokvalitetne koncentrate, jer se u rastopu desulfuracija ne mora završiti u potpunosti.

Za sve je zajedničko da se šarža, sastavljena od olovnog koncentrata, topitelja i povratne prašine topi sa vazduhom ili kiseonikom, a kao produkti dobijaju sirovo olovo sa povećanim sadržajem sumpora, šljaka i gas bogat sa SO<sub>2</sub>.

Karakteristike i tok procesa direktnog topljenja određuju se odnosom kiseonik-koncentrat koji diktira sadržaj olova u šljaci, sadržaj sumpora u sirovom olovu, distribuciju pratećih metala, količinu stvorene prašine, i u izvesnoj meri habanje vatrostalnog materijala.

Gubitak na olovu i sporednim elementima kao što su Cu, As i Sb povećava se sa potencijalom kiseonika.

Svi ovi faktori moraju se uzeti u obzir pri odabiru procesa direktnog topljenja radi prerade određenog olovnog koncentrata.

Od savremenih postupaka najširu industrijsku primenu su našli KIVCET i Boliden TBRC, a osim njih, u savremene postupke prerade olovnih koncentrata spadaju još QSL, Siros melt, Outokumpu, Kominko, Noranda i St. Jozef.

**LITERATURA**

- [1] R. Vračar, B. Nikolić, Ekstraktivna metalurgija olova, Naučna knjiga, Beograd (1995) 205.
- [2] G.N. Šavrin, Metallurgija svinca i cinka, Moskva, Metallurgija (1982).
- [3] F.M. Loskutov, Matallurgija tjaželih cvetnih metallov, č.2, Svinec i cink, Moskva, Metallurgizdat (1991).
- [4] B. Nikolić, M. Barać, Savremena kretanja u metalurgiji olova, I savetovanje metalurga Jugoslavije, Smederevo (1994).
- [5] A.G. Matyas, P.T. Mackey, Metallurgy of the Direct Smelting of Lead, JOM, Nov. (1976) 10-15.
- [6] Ž. Živković, V. Savović, Teorija pirometalurških procesa, Tehnički fakultet, Bor (1994) 253.
- [7] B. Nikolić, Antimon u metalurgiji olova, IHTM – Beograd (2004) 167.
- [8] M. Barać, Izrada modela uštede toplotne energije u metalurgiji olova "Trepča", Doktorska disertacija (1997).
- [9] D. Vučurović, Č. Knežević, Bakar – autogeni procesi topljenja u metalurgiji bakra, RTB Bor (2000) 153.
- [10] A.V. Tarasov, Razrabotka i vnedrenie novih tehnologii v cvetnoj metallurgii, Tehnika – RGM, Vol.53, N<sup>o</sup>3 (2002) 14-20.
- [11] S.A. Sirčev, Opit i perspektiva avtogenoj plavki svincovih koncentratov metodom Kivcet-cs na UKSUK, Moskva, Cvetni metali, N<sup>o</sup>5 (1990).
- [12] J.A. Grinin, Polučenie svinca metodom Kivcet-cs na Zavode Porto-Vesme, Moskva, Cvetni metali, N<sup>o</sup>5 (1990).
- [13] V.N. Sobačkin, Perevod Čimkentskogo Svincovogo zavoda na avtogenuju plavku, Moskva, Cvetni metali, N<sup>o</sup>5 (1990).
- [14] A.D. Pazour, Boliden tests TBRC for lead concentrate smelting, World Mining, San Francisko, USA, 1982, 63-65.
- [15] P.E. Queneau, R. Schumann, JOM, Vol.26, N<sup>o</sup> 8 (1974) 14-16.
- [16] QSL Lead Recovery Process, Lurgi Chemie und Huttentechnik, GmbH, Frankfurt (1976).
- [17] W.W. Schwartz, Development of a New Process for Production of Lead: the Q52 Process, Lurgi Chemie und Huttentechnik, GmbH, Frankfurt (1976).
- [18] P. Bryk, R. Malstrom, E. Nyholm, JOM, Vol.18, N<sup>o</sup>1 (1966) 298-302.
- [19] S.C. Liang, E.F. Milner, G.W. Toop, Canadian Patent N<sup>o</sup> 939,968 (1973).
- [20] F.T. Fuller, JOM, Vol.20, N<sup>o</sup>12 (1968) 26-30.
- [21] N.J. Themelis, J.R. Rawling, US Patent N<sup>o</sup> 3,663,207 (1972).