

MIRA B. COCIĆ¹
MIHOVIL M. LOGAR²
SAŠA LJ. COCIĆ³
DRAGANA T. ŽIVKOVIĆ¹
BRANKO Ž. MATOVIĆ⁴
SNEŽANA S. DEVIĆ⁵

¹Univerzitet u Beogradu, Tehnički
fakultet, Bor

²Rudarsko-geološki fakultet,
Beograd

³Freeport McMoran, Phoenix AZ,
USA

⁴Institut za nuklearne nauke Vinča,
Beograd

⁵Institut za ispitivanje materijala,
Beograd

NAUČNI RAD

UDK 553.43(497.11BOR):669.331:
:543.422.3

DOI: 10.2298/HEMIND0904319C

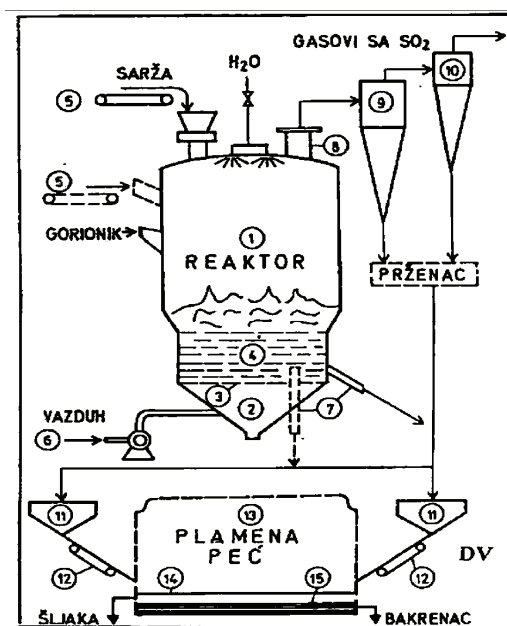
ODREĐIVANJE SASTAVA SULFIDNIH KONCENTRATA RUDE BAKRA RENDGENSKOM DIFRAKCIJOM I HEMIJSKOM ANALIZOM

U radu su prikazani rezultati ispitivanja mineralnog sastava ulaznog materijala (šarže) i produkata prženja (poletine i preliva) sulfidnih koncentrata bakra u fluo-solid reaktoru u RTB-u u Boru sa ciljem da se utvrdi saglasnost sadržaja gvožđa, bakra, sumpora i kiseonika (kod poletine) koji su određeni hemijskom i rendgensko-difrakcionom analizom praha na osnovu kvantitativnog mineralnog sastava. Odnos mineralnog sastava šarže i poletine neposredno govori o efikasnosti procesa prženja u fluo-solid reaktoru. Prisustvo bornita koji nastaje oksidacijom halkopirita uz pojavu magnetita na to direktno ukazuje. Stoga je od velikog značaja određivanje kvantitativnog mineralnog sastava. Razlike u dobijenim rezultatima ovim dvema tehnikama su uočene, ali su dovoljno male da potvrde pouzdanost merenja.

Proces prženja sulfidnih koncentrata bakra u reaktoru sa fluidizacionim slojem (slika 1) složen je fizičko-hemijski proces i predstavlja prvu fazu u lancu prerade koncentrata bakra u RTB Bor, te je i razumljiv značaj pravilnog i kvalitetnog vođenja procesa kao preduslov za korektnu preradu u fazama koje slede, a na kraju i za kvalitetan katodni bakar. Sam proces odvija se u visokotemperaturnom režimu između čvrste i gasovite faze, bez pojave tečne faze, sa idealnim mešanjem reagujućih komponenata. Toplota dobijena oksidacijom jednog dela sumpora iz halkopirita i piritita dovoljna je za odvijanje ukupnog procesa pri temperaturama 620–670 °C. To znači, da kada se pri određenim uslovima sulfidi zagreju do temperature paljenja, proces se nadalje odvija autogeno bez dovodenja drugih oblika energije [1]. Temperatura paljenja sulfida koja određuje početak prženja zavisi od fizičkih osobina sulfida, ali veoma bitan uticaj imaju veličina čestica kao i karakteristike produkta oksidacije [2]. Kao produkti procesa prženja dobijaju se: poletina – koja ide na topljenje u plamenu peć i gasovi bogati sumpordioksidom, iz kojih se nakon otprašivanja u fabrici sumporne kiseline dobija sumporna kiselina [3].

Fizičko-hemijske promene u procesu oksidacionog prženja mogu se analizirati u sistemu Cu–Fe–S. Na slici 2 prikazan je izotermni presek sistema Cu–Fe–S na 700 °C [4,5], gde se mogu videti oblasti čvrstih rastvora (šrafirane površine). Vidljivo je polje stabilnosti halkopirita (CuFeS₂) koji u izvesnoj meri ostaje u neizreagovanom obliku u uslovima oksidacionog prženja u fluo-

-solid reaktoru. Izučavajući proces oksidacionog prženja sulfidnih sirovina bakra, mnogi istraživači su došli do zaključka da se oksidacija halkopirita odvija preko obrazovanja bornitne faze [6–12].



Slika 1. Šema fluo-solid reaktora [1]: 1) reaktor, 2) vazdušna komora, 3) duvnička rešetka, 4) posteljica, 5) sistem za šaržiranje, 6) procesni vazduh, 7) preliv, 8) otvor za procesni gas, 9) primarni ciklon, 10) sekundarni ciklon, 11) bunker za poletinu, 12) šaržirni uređaj, 13) plamena peć, 14) šljaka, 15) bakrenac.

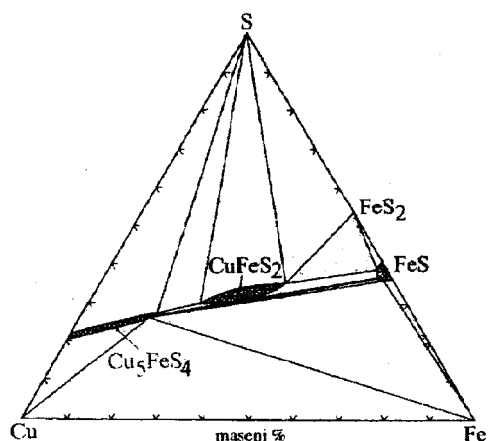
Figure 1. Fluo-solid reactor layout [1]: 1) reactor, 2) air chamber, 3) processing grid, 4) bed, 5) charge system, 6) air, 7) overflow, 8) processing gas orifice, 9) primary cyclone, 10) secondary cyclone, 11) calcine storage bin, 12) charge unit, 13) flame furnace, 14) slag, 15) copper matte.

Autor za prepisku: M. Cocić, Univerzitet u Beogradu – Tehnički fakultet u Boru, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor.

E-pošta: mcocic@tf.bor.ac.yu

Rad primljen: 3. mart 2009.

Rad prihvaćen: 29. jun 2009.



Slika 2. Izotermni presek sistema Cu–Fe–S na 700 °C [4,5].
Figure 2. Isothermal section of Cu–Fe–S at 700 °C [4,5].

Odnos mineralnog sastava šarže i poletine neposredno govori o efikasnosti procesa prženja u fluo-solid reaktoru. Količina bornita koji nastaje oksidacijom halkopirita uz pojavu magnetita, na to direktno ukazuje. Stoga je od presudnog značaja određivanje kvantitativnog mineraloškog sastava. On se može odrediti rendgenskom difrakcijom ali i izračunati iz hemijske analize.

Rendgensko-difrakciona analiza praha omogućava da se na osnovu Rietveldovog postupka, proračuna kvantitativni mineralni sastav iz dijagrama praha. Da bi se Rietveldov postupak primenio potrebno je poznavanje strukture i hemijskog sastava identifikovanih minerala.

Iz hemijske analize šarže i poletine, izračunava se na osnovu stehiometrijskog sastava sadržaj rendgenski (ili mikroskopski) identifikovanih minerala. Pri tom se koriste njihove idealne hemijske formule.

Rietveldov postupak i modalni sastav iz hemijske analize sadrže moguću grešku prouzrokovanu: a) kod Rietveldove analize odstupanjem minerala od prihvaćenog strukturnog modela i b) kod hemijske analize odstupanjem minerala od idealnog stehiometrijskog sastava.

Stoga su za kvantitativno određivanje mineralnog sastava potrebna oba postupka. U ovom radu ispitivana je korelacija rezultata oba postupka, odnosno, mera pouzdanosti krajnjeg rezultata, tj. kvantitativnog mineralnog sastava šarže i poletine.

Ispitano je 30 uzoraka koji predstavljaju praćenje procesa prženja tokom 10 dana, pri čemu je svakodnevno uzimano po 3 uzorka i to ulaz – šarža i dva izlaza – poletina i preliv.

EKSPERIMENTALNI RAD

Polazni uzorci za ispitivanje predstavljaju šaržu uzetu iz pogona topionice u Boru. Šarža je podvrgnuta prženju u fluo-solid reaktoru pri sledećim uslovima: protok procesnog vazduha 24000–25000 m³/h, protok rashladne vode 1–2 m³/h, kapacitet šaržiranja 45–55 t/h.

Nakon prženja uzorkovani su poletina i preliv. Uzorci poletine uzeti su na njenom putu u plamenu peć, neposredno na izlazu iz šaržirnog uređaja, dok su uzorci preliva uzeti neposredno na prelivu (slika 1).

Na svim uzorcima je urađena hemijska analiza, pri čemu je bakar određivan na više načina: spektrofotometrijski (SF) i atomsko-apsorciono spektrofotometrijski (AAS) za uzorke koji sadrže do 3% bakra i elektrogravimetrijski (EG) za uzorke koji sadrže preko 3% bakra. Sumpor i silicijumdioksid (SiO₂) određeni su gravimetrijski (G), dok su gvožđe i kalcijumoksid, CaO, određeni volumetrijski. Magnetit je određen magnetnom vagom Satmagan u kojoj se uzorak meri u gravitacionom magnetnom polju.

Rendgensko-difrakciona ispitivanja rađena su na sobnoj temperaturi na rendgenskom generatoru Simens Kristaloflex 810. Za snimanje je korišćena Cu-antikataoda sa filtriranim zračenjem, Ni-filtrima, pri naponu od 40 kV i jačini struje od 20 mA. Difrakcioni podaci su prikupljeni u oblasti 2θ od 4 do 70° sa korakom od 0,02° i vremenom zadržavanja na svakom koraku od 0,5 s. Literaturni podaci sa kojima su upoređivane izračunate vrednosti međupljosnih rastojanja uzeti su iz kartoteke Joint Committee on Powder Diffraction Standard: kvarc (JCPDS card 5-490), pirit (JCPDS card 6-0710), halkopirit (JCPDS card 9-423), bornit (JCPDS card 14-323), pirotin (JCPDS card 20-534), magnetit (JCPDS card 19-629), kalcit (JCPDS card 5-586), anhidrit (JCPDS card 6-226). Na osnovu rezultata dobijenih rendgensko-difrakcionom analizom praha određen je kvantitativni mineralni sastav primenom programa Powder Cell [13], pri čemu je na osnovu poznatog stehiometrijskog sastava minerala izračunata koncentracija elemenata u uzorku.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati parcijalnih hemijskih analiza, kojima su određivani pojedini hemijski elementi i jedinjenja koji su bili od bitnog značaja za praćenje procesa, dati su u tabeli 1. Kompletna analiza nije rađena, jer je za ovaj proces značajan samo sadržaj određenih komponenata. U tabeli 2 prikazan je kvantitativni mineralni sastav. Na slici 3 prikazani su difraktogrami uzoraka šarža 3 i poletina 3.

Može se reći da poletina koja predstavlja isprženu bakarnu šaržu sadrži kvalitativno iste elemente kao i polazna šarža, ali je njihov kvantitativni iznos sasvim izmenjen. Mineralni sastav se vidno menja jer se pri prženju halkopiritno-piritne šarže odvija potpuna disocijacija piritna i delimična disocijacija halkopirita do bornita i pirotina. Nepotpuna disocijacija halkopirita posledica je kratkog vremena zadržavanja čestica u reakcionom prostoru. Povećan sadržaj kvarca u prelivu se javlja zbog prisustva velike količine vazduha a smanjenog broja optimalnih duvnica u reaktoru, tako da kvarc iz posteljice biva ponešen sa vazduhom.

Tabela 1. Rezultati parcijalne hemijske analize (HA)
Table 1. Results of partial chemical analysis (HA)

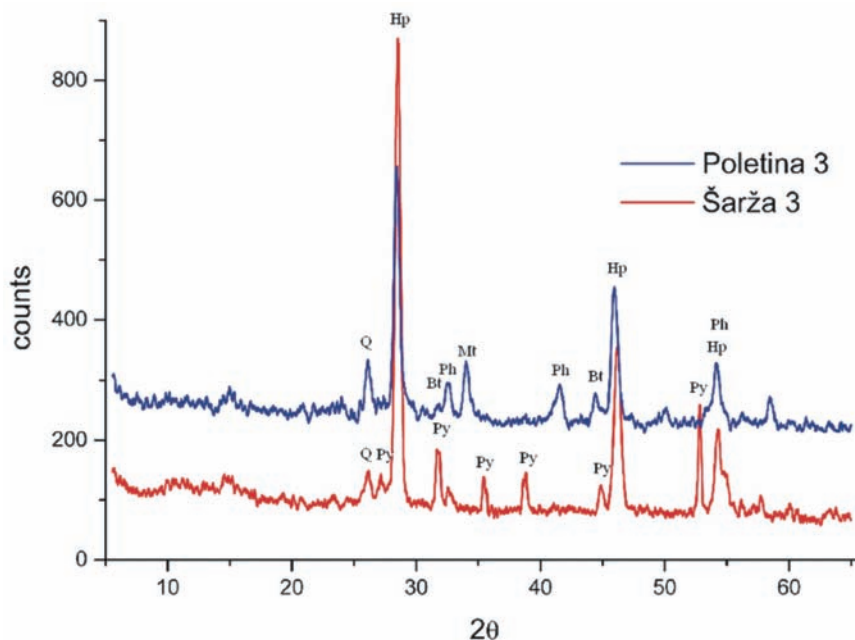
Uzorak	Sadržaj, mas%					
	Cu	SiO ₂	Fe	CaO	S	Fe ₃ O ₄
Sarža 1	14,76	10,42	26,44	5,77	34,85	0,34
Poletina 1	16,97	15,85	33,23	1,32	20,3	10,66
Preliv 1	1,1	7,2	2,11	45,01	0,8	0,44
Sarža 2	12,86	16,26	25,97	3,19	29,55	0,39
Poletina 2	14,93	20,57	30,07	1,32	18,89	8,99
Preliv 2	0,80	17,00	1,73	41,56	0,6	0,54
Sarža 3	19,41	11,37	29,18	0,00	32,72	0,27
Poletina 3	20,68	16,53	30,58	0,00	19,5	10,31
Preliv 3	4,17	20,65	5,01	33,14	0,6	3,1
Sarža 4	18,8	11,17	27,37	3,16	29,7	0,00
Poletina 4	21,32	14,53	33,51	1,67	19,9	11,57
Preliv 4	6,12	32,84	7,68	24,37	4,18	2,27
Sarža 5	19,88	11,46	30,72	1,79	31,48	0,00
Poletina 5	22,72	14,14	30,86	1,45	21,08	8,61
Preliv 5	1,93	33,97	2,51	30,74	1,18	0,52
Sarža 6	18,8	12,77	26,72	2,57	31,38	0,00
Poletina 6	19,96	13,41	29,04	1,58	19,5	8,07
Preliv 6	1,22	29,69	3,77	31,74	1,28	0,52
Sarža 7	15,8	13,06	26,67	2,83	33,07	0,00
Poletina 7	16,1	20,64	30,35	2,46	19,6	9,39
Preliv 7	1,68	29,99	2,57	33,08	0,39	0,64
Sarža 8	16,96	11,02	27,23	2,33	32,08	0,00
Poletina 8	18,8	13,89	31,97	1,75	20,88	9,31
Preliv 8	0,98	23,33	1,26	38,44	0,79	0,00
Sarža 9	15,7	12,28	26,3	2,66	31,88	0,00
Poletina 9	18,4	14,32	31,89	1,5	21,47	9,39
Preliv 9	1,08	25,93	1,45	30,07	0,69	0,12
Sarža 10	15,34	12,25	27,64	3,75	33,07	0,00
Poletina 10	18,06	13,84	32,67	1,52	22,06	9,34
Preliv 10	0,95	22,7	1,26	36,43	0,44	0,00

Tabela 2. Kvantitativni mineralni sastav (mas%) određen Powder Cell analizom
Table 2. Quantitative mineralogical composition (mas%) determined by Powder Cell

Uzorak	Halkopirit CuFeS ₂	Magnetit FeOFe ₂ O ₃	Bornit Cu ₃ FeS ₄	Pirotin FeS	Pirit FeS ₂	Kvarc SiO ₂	Anhidrit CaSO ₄	Kalcit CaCO ₃
Šarža 1	42,3	0,00	0,00	0,00	29,95	27,74	0,00	0,00
Poletina 1	56,6	21,49	7,91	14	0,00	–	0,00	0,00
Preliv 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,71	12,47	74,82
Šarža 2	26,86	0,00	0,00	0,00	17,63	55,52	0,00	0,00
Poletina 2	75,96	12,12	1,55	10,33	0,00	–	0,00	0,00
Preliv 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,14	8,87	64,99
Šarža 3	68,61	0,00	0,00	0,00	16,75	14,64	0,00	0,00
Poletina 3	66,81	18,69	3,48	11,03	0,00	–	0,00	0,00
Preliv 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,67	6,34	54,99
Šarža 4	67,73	0,00	0,00	0,00	15,32	16,95	0,00	0,00
Poletina 4	67,29	20,03	5,59	7,09	0,00	–	0,00	0,00
Preliv 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,02	1,42	39,55

Tabela 2. Nastavak
Table 2. Continued

Uzorak	Halkopirit CuFeS ₂	Magnetit FeOFe ₂ O ₃	Bornit Cu ₃ FeS ₄	Pirotin FeS	Pirit FeS ₂	Kvarc SiO ₂	Anhidrit CaSO ₄	Kalcit CaCO ₃
Šarža 5	57,88	0,00	0,00	0,00	18,68	23,44	0,00	0,00
Poletina 5	64,13	15,66	12,26	7,95	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,75	9,73	39,52
Šarža 6	49,96	0,00	0,00	0,00	15,66	34,38	0,00	0,00
Poletina 6	69,73	15,65	4,28	10,35	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,49	5,23	38,27
Šarža 7	41,51	0,00	0,00	0,00	23,79	34,7	0,00	0,00
Poletina 7	61,54	19,77	3,68	15,01	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,84	10,61	46,56
Šarža 8	54,35	0,00	0,00	0,00	17,08	28,58	0,00	0,00
Poletina 8	65,57	11,22	9,92	13,29	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,07	8,27	45,02
Šarža 9	58,12	0,00	0,00	0,00	25,13	16,74	0,00	0,00
Poletina 9	62,68	16,88	6,17	14,28	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,45	9,76	50,79
Šarža 10	39,38	0,00	0,00	0,00	25,3	35,33	0,00	0,00
Poletina 10	58,96	14,24	10,01	16,79	0,00	-	0,00	0,00
Preliv 10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,02	5,32	35,66

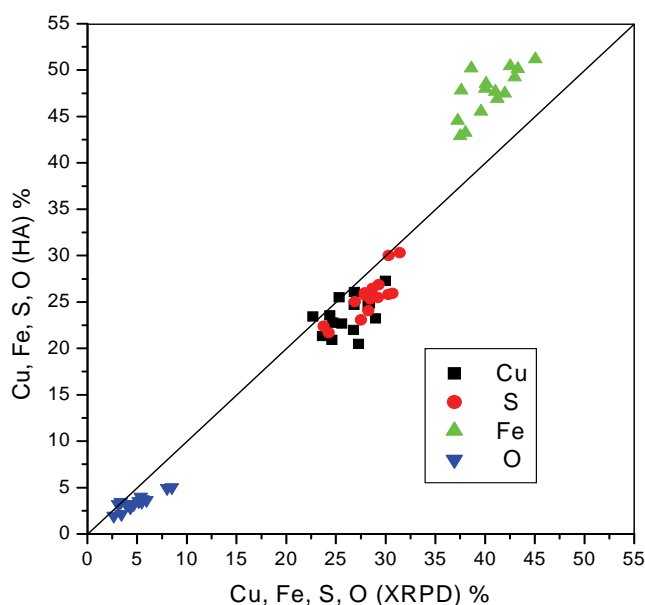
Slika 3. Difraktogram uzorka šarža 3 i poletina 3 (Hp – halkopirit, Mt – magnetit, Bt – bornit, Q – kvarcit, Py – pirit, Ph – piritin).
Figure 3. Diffraction of charge and calcine 3 (Hp – chalcopyrite, Mt – magnetite, Q – quartz, Bt – bornite, Py – pyrite, Ph – pyrrhotite).

U tabeli 3 dat je prosečan sastav i standardna greška ispitivanih uzoraka poletine na osnovu parcijalne hemijske analize u poređenju sa onim dobijenim rendgensko-difrakcionom analizom. Iz proračuna je isključen kvarc i kalcit koga ima vrlo malo u početnom materijalu, a odlazi u preliv.

Upoređivanjem sastava poletina iz fluo-solid reaktora, na osnovu rezultata dobijenih hemijskom analizom i rendgensko-difrakcionom analizom, zapaža se da se sadržaj gvožđa najviše razlikuje. Ta razlika nastaje zbog toga što je magnetit u hemijskoj analizi određivan primenom magnetometra. Kako magnetit koji je nastao u toku procesa ne mora i nema uređenu magnetnu struk-

Tabela 3. Upoređivanje hemijskog sastava uzoraka poletina na osnovu rendgensko-difrakcione analize (XRPD) i hemijske analize (HA)
Table 3. Comparison chemical complex samples calcine base XRPD and chemical analysis (HA)

	XRPD				Srednja vrednost XRPD	HA		
	Minerali					Srednja vrednost HA	Srednja vrednost (HA i XRPD)	Standardna greška (HA i XRPD)
	Halkopirit	Bornit	Pirotin	Magnetit				
	64,863	6,028	11,279	17,804				
Ukupno	99,974							
	Elementi							
Cu	22,449	3,818	0,000	0,000	26,267	23,559	24,920	3,391
Fe	19,731	0,669	7,162	12,883	40,445	47,592	44,028	7,344
S	22,670	1,540	4,117	0,000	28,326	25,602	26,965	3,027
O	0,000	0,000	0,000	4,921	4,921	3,403	4,163	1,793
Ukupno	64,850	6,027	11,279	17,804	–	–	–	–



Slika 4. Dijagram saglasnosti sadržaja Cu, Fe, S i O između rendgensko-difrakcione (XRPD) i hemijske analize (HA).
Fig. 4. Agreement between the amount of Cu, Fe, S and O derived from XRPD and chemical analysis (HA).

turu, to na taj način sadržaj magnetita određen hemijskom analizom ima niže vrednosti od rendgensko-difrakcione analize. Zbog toga je sadržaj gvožđa znatno viši u drugim mineralima budući da je računat iz razlike (ukupnog Fe – magnetit). Ako se magnetit preračuna na gvožđe dobijaju se vrlo saglasni rezultati sa XRPD za ukupno gvožđe.

Na slici 4 prikazane su prosečne vrednosti sadržaja bakra, gvožđa, sumpora i kiseonika na osnovu 30 analiza dobijenih rendgensko-difrakcionom i hemijskom analizom. One se međusobno ne razlikuju mnogo za bakar, sumpor i kiseonik ali je razlika izrazita kod gvožđa, gde rezultati hemijske analize odstupaju od rendgensko-difrakcione analize praha. Veličina odstupanja je izražena standardnom greškom (Tabela 3).

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata analiziranih uzoraka može se reći da u procesu prženja šarže pirit i deo hal-

kopirita disosuju i prelaze u stabilnije sulfide bakra i gvožđa: bornit i pirotin, a deo halkopirita ostaje nepromenjen. Saglasnost hemijskog i stehiometrijskog sastava minerala iz kvantitativne odredbe rendgensko-difrakcione analize sa hemijskom analizom je dobra. Uočena razlika u sadržaju gvožđa je zbog mešavine oksida (magnetita) i sulfida usled čega rezultati hemijske analize odstupaju od rendgensko-difrakcione analize.

Zahvalnost

Ovaj rad je urađen uz finansijsku pomoć Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i deo je projekta 146020.

LITERATURA

- [1] D. Vučurović, Č. Knežević, Bakar, monografija u štampi.
- [2] B. Čadenović, P. Šukletović, Projekat: „Modernizacija topionice bakra i fabrike sumporne kiseline u Boru“, Institut za bakar Bor, Bor 1998, 21–44.

- [3] M. Cocić, Mineralne transformacije pri prženju koncentrata bakra u fluo-solid reaktoru, Magistarska teza, Tehnički fakultet, Bor, 2004.
- [4] R.A. Yund, G.J. Kullerud, J. Petrol. 7 (1966) 454–488.
- [5] Minerali, Nauka, Moskva, 1974, str. 39.
- [6] T. Rosenqvist, Metall. Trans. B 9B (1978) 337–351.
- [7] M.M. Spivak, P.A. Isakova, A.G. Loparev, Himija i tehnologija molibdena i volframa, Tezisi dokladov IV, Vsesojuznogo soveshchaniya, Tashkent, Sentjabar 1980, FAN, 16.
- [8] A. Yazawa, Metall. Trans. AIMS 10B (1979) 307–321.
- [9] E.V. Margulis, Issledovanie himizma oksigenia bornita, Zhurnal prikladnoj himii 34 (1961) 2164–2171.
- [10] Chzhun-Hua Chzhou, A. J. Malevskij, A. V. Vanjukov, T. Mincvetmet: Metallurgizdat 31 (1958) 327–336.
- [11] P.N. Bakirdzhiev, I.S. Grozdanov, Obojeni metali (prevod), No. 4 (1986) 42–45.
- [12] M. Cocić, P. Šukletović, Mineralne transformacije pri prženju koncentrata bakra u fluo-solid reaktoru, Zbornik radova, XXX Oktobarsko savetovanje, Donji Milanovac, 1998, 108–112.
- [13] W. Kraus, G. Nolze, PowderCell for Windows, version 2.4, Federal Institute for Materials Research and Testing, Berlin, Germany, 2000.

SUMMARY

DETERMINATION OF SULPHIDE CONCENTRATES OF ORE COPPER BY XRPD AND CHEMICAL ANALYSIS

Mira B. Cocić¹, Mihovil M. Logar², Saša Lj. Cocić³, Dragana T. Živković¹, Branko Ž. Matović⁴, Snežana S. Dević⁵

¹Technical Faculty Bor, University of Belgrade

²Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade

³Freeport McMoran, Phoenix AZ, USA

⁴Institute of Nuclear Sciences Vinča, Belgrade

⁵Institute for Testing of Materials, Belgrade

(Scientific paper)

Roasting process of sulphide copper concentrates in fluo-solid reactor is an oxidation process, and presents the first stage of copper concentrate processing in Copper Mining and Smelting Complex Bor, RTB Bor. Therefore, the importance of accurate and up to date process control is an apparent precondition for the correct treatment in the following stages and also for of high grade cathode copper. As concentrate is fed into the roaster, it is heated by a stream of hot air to about 590 °C. The process takes place between solid and gaseous phases without the appearance of a liquid phase. The heat generated by the exothermic oxidation reaction of sulphur from copper and iron minerals (chalcopyrite and pyrite) is sufficient to carry out the entire process autogenously at temperature from 620 to 670 °C. The temperature of sulphur firing which defines the start of roasting depends on physical traits, particle size of sulfides and characteristic product of oxidation. The obtained products of the roasting process are: calcine, ready for smelting in the furnace and gas-rich sulphure dioxide (SO₂), well suited for the production of sulfuric acid. The relationship between the quantitative mineral composition of the charge and of the calcine directly points out to the efficiency of the roasting process in fluo-solid reactor. The amount of bornite and magnetite, resulting from the sulfide oxidation is the most important parameter. Hence, quantitative determination of mineral composition is of great interest. In this work, the results of the determination of quantitative mineral composition of the copper sulphide concentrate (charge) and products of their roasting (calcine and overflow) in fluo-solid reactor in the RTB Bor are presented. The aim was to compare the results of the iron, copper, sulfur and oxygen contents determined by two independent techniques, the chemical (HA) and X-ray powder diffraction analysis (XRPD) that is based on the quantitative mineral composition. Differences in the obtained results are evident, but small enough to confirm the reliability of measurement.

Ključne reči: Prženje bakarnih koncentrata • Kvantitativni mineralni sastav • Rendgensko-difrakciona analiza praha • Hemijska analiza
Key words: Roasted copper concentrate • Quantitative mineral composition • X-ray Diffraction • Chemical analysis