

Metalurška prerada sekundarnih sirovina bakra

MIROSLAV D. SOKIĆ, Institut za tehnologiju nuklearnih

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

ZVONKO P. GULIŠIJA, Institut za tehnologiju nuklearnih

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

ILIJA B. ILIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

BRANISLAV R. MARKOVIĆ, Institut za tehnologiju nuklearnih

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

NADA D. ŠTRBAC, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

DRAGANA T. ŽIVKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

VASO D. MANOJLOVIĆ, Institut za tehnologiju nuklearnih

i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Stručni rad

UDC: 628.54:669.35.092

DOI: 10.5937/tehnika1504616S

Postupci prerade sekundarnih sirovina bakra uključuju dva osnovna stupnja: pripremu bakarnih otpadaka i njihovu dalju metaluršku preradu. Za pripremu bakarnih otpadaka koriste se različiti postupci u zavisnosti od vrste i kvaliteta sekundarne sirovine. Sve operacije pripreme utiču na kvalitet metalurške prerade, odnosno na kvalitet proizvoda. Za topljenje pripremljenih sekundarnih sirovina u cilju dobijanja legura na bazi bakra koriste se razni agregati: šahtne peći, konvertori, plamene lončaste i koritaste plamene peći, kratke bubnjaste peći i električne peći (elektrolučne, elektrootporne, indukcione).

Ključne reči: sekundarne sirovine bakra, metalurška prerada, topljenje

1. UVOD

Široka primena bakra uslovljava nastajanje sekundarnih sirovina bakra različitog sastava i oblika [1-3]. Najvažniji otpadni materijali koji nastaju u proizvodnji i preradi bakra su metalni otpaci od bakra i njegovih legura, otpaci od bakarnih kablova i provodnika, šljake, strugotine i prašine iz proizvodnje i prerade katodnog bakra i bakarnih legura, pre svega mesinga, elektronski otpad i dr. [4-5]. Pored bakra, bakarni otpadak sadrži i druge elemente kao što su olovo, cink, kalaj, železo, plastika i dr. Obzirom na heterogenost bakarnih sekundarnih sirovina, pravilno razvrstavanje i klasifikacija je veoma značajna jer obezbeđuje jednostavniju i efikasniju preradu i dobijanje proizvo-

da višeg kvaliteta. Izbor tehnologije pripreme i metalurške prerade zavisi od vrste i kvaliteta bakarne sekundarne sirovine.

2. PRIPREMA SEKUNDARNIH SIROVINA BAKRA

Pod pripremom otpadaka bakra i bakarnih legura podrazumeva se njihovo dovođenje u stanje koje će obezbediti efikasnu metaluršku preradu. To podrazumeva dovođenje otpadaka na standardne gabarite i krupnoću, odvajanje železnih i nemetalnih delova od osnovne mase metala, odmaščivanje, odstranjenje vlage i dr.

Savesna i kvalitetna priprema otpadaka obojenih metala doprinosi minimalnim gubicima metala pri metalurškoj preradi, sniženju potrošnje goriva, električne energije, topitelja, efikasnijem korišćenju metalurške opreme, transportnih uređaja, povećanju proizvodnosti agregata i kvaliteta dobijenih metala i legura [6].

Adresa autora: Miroslav Sokić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, Franša D'Eperea 86

Rad primljen: 24.06.2015.

Rad prihvaćen: 03.07.2015.

Priprema otpadaka bakra i bakarnih legura uključuje sortiranje, elektromagnetnu separaciju, razdvajanje, odmašćivanje i sušenje, briketiranje, elektrostatičku separaciju i dr u zavisnosti od vrste sekundarne sirovine [4-7].

Kod operacija pripreme otpadaka za metaluršku preradu posebnu pažnju treba posvetiti sortiranju. To se odnosi i na otpatke bakra i legura bakra, obzirom da se često u istoj livnici prerađuje različite vrste legura: mesinzi, kalajne bronzne, aluminijumske bronzne i sl.

Mešanje otpadaka legura različitog hemijskog sastava dovodi do povećanja nepoželjnih primesa u krajnjoj leguri. Takvi se materijali ne mogu iskoristiti za dobijanje odlivaka određenog kvaliteta. Otpaci se moraju razvrstati i prema krupnoći da bi se gubitak pri topljenju usled odgorevanja sveo na minimum.

Radi što boljeg iskorišćenja bakarnog otpatka pri metalurškoj preradi, potrebno ga je razvrstati u četiri osnovne grupe:

- bakarni otpaci,
- mesingani otpaci,
- bronzani otpaci i
- otpaci ostalih legura bakra.

Navedena klasifikacija omogućava direktnu preradu otpadaka od bakra i njegovih legura u odgovarajuće polufabrikate. Dakle, bakarni otpaci se prerađuju u bakarne ili legirane poluproizvode, mesingani otpaci u mesingane poluproizvode i td. Ovim načinom prerade iskorišćavaju se svi metali prisutni u legurama, uz neizbežne minimalne gubitke uslovljene tehnološkim procesom.

Pri pretapanju opiljaka, strugotine i sitnijih komada mora se voditi računa o gubicima usled odgorevanja, koji zavise od vrste peći, goriva, vremena topljenja i krupnoće materijala. Odgorevanja pri pretapanju mogu iznositi i do 15%.

Potencijalna opasnost za dobijanje loših odlivaka od otpadnih bakarnih sirovina je prisustvo gasova ili raznih nečistoća metalnog i nemetalnog porekla. Da bi se otklonila opasnost stvaranja gasnih šupljina ili sličnih grešaka u komadu, potrebno je sav bakarni materijal podvrgnuti procesu čišćenja peskarenjem ili odmašćivanjem.

Šljake se pre upotrebe u livnicama podvrgavaju usitnjavanju i suvom ili mokrom postupku separacije, čime se razdvajaju metalna i nemetalna faza [8]. Nakon toga metalna faza se upotrebljava za topljenje u livnicama. Nemetalna faza sadrži okside cinka i bakra, pesak i vatrostalni materijal i najčešće se prerađuje hidrometalurškim postupkom. Šljaka se u cilju lakše prerade mora sortirati po grupama legura, da ne bi došlo do suviše velikog zagađivanja ovih materijala neželjenim primesama.

Da bi se ove vrste otpadnih materijala mogle upotrebiti za livenje kvalitetnijih delova, potrebno je odrediti hemijski sastav materijala koji se pretapa u ingote. Hemijski sastav materijala uvek može biti korigovan, ukoliko nije zaprljan nečistoćama do te mere da više nije ekonomičan za regeneraciju.

Cilj pripreme kablova i provodnika sa izolacijom je odvajanje obojenih metala od izolacije [4]. Otpadak od provodnika prvo se podvrgava separaciji gde se odvajaju bakarni provodnici od ostalih vrsta provodnika. Bakarni provodnici odlaze na rezanje i drobljenje, a nakon toga na vazдушnu separaciju gde se izdvajaju krupnije bakarne čestice. Iz mešavine sitnijih bakarnih čestica sa izolacijom prosejavanjem se odvajaju bakarni opiljci od izolacije.

Strugotine različitog hemijskog sastava moraju se razdvajati na mestima nastajanja kako bi se olakšala njihova prerada [1, 4]. S obzirom na raznolikost nastajanja strugotina, iste su redovno zaprljane rashladnim fluidima, mastima, gvozdanim uključcima i dr, što otežava njihovu dalju preradu. Rastresita i spiralna strugotina se skladište odvojeno i za topljenje pripremaju na različite načine.

Spiralna strugotina se najpre prosejava na uređaju sa dva sita u cilju odvajanja rastresite strugotine, spiralne strugotine i komada metala i nemetalnih uključaka. Potom se prosejana spiralna strugotina paketira i otprema u paketima u metalurške pogone.

Prosejavanje rastresite strugotine vrši se na uređaju za prosejavanje sa jednim sitom, u cilju odvajanja komadaste frakcije. Prosejana rastresita strugotina zatim ide na operaciju uklanjanja vlage i ulja. Za odstranjivanje vlage i masti iz strugotine primenjuje se centrifugiranje, ispiranje u toploj vodi ili baznim rastvorima i sušenje u zagrevnim pećima. Suva i odmašćena strugotina ide na uređaj za prosejavanje radi odvajanja krupne i sitne frakcije. Krupna strugotina se pretapa, a sitna odlazi na magnetnu separaciju radi odvajanja magnetne frakcije, a nemagnetna frakcija briketira. Skoro uvek, pre briketiranja, vrši se sušenje strugotine, najčešće u bubnjastim obrtnim pećima radi uklanjanja zaostale vlage i masti.

3. METALURŠKA PRERADA SEKUNDARNIH SIROVINA BAKRA

Pripremljen otpadak bakra i legura bakra predstavlja vrednu sirovinu za dalju metaluršku preradu u livnicama. Sve operacije pripreme neposredno utiču na kvalitet metalurške prerade, tj. procesa topljenja, a samim tim i na kvalitet dobijenih proizvoda.

Kod dobijanja određene vrste legure direktno iz otpadaka, moraju se poštovati procedure i primenjivati operacije kojima se uklanjaju nepoželjne primese, sprečavaju gubici radi što boljeg iskorišćenja osnovnog

materijala, uz minimalni utrošak energije i vremena, da bi se kao krajnji proizvod dobila legura garantovanog hemijskog sastava.

Količina povratnog materijala koja nastaje u procesu prerade metala u tečnom stanju u samoj livnici je velika i ima značajan udeo u ukupnoj količini bakarnih otpadaka koji se reciklira. Prednosti korišćenja ovog materijala su sledeće:

- poznata je ukupna količina i dinamika generisanja, pa se unapred može predvideti njegovo korišćenje, što pozitivno utiče na cenu koštanja,
 - poznat hemijski sastav materijala, pa se može upotrebljavati za izradu proizvoda visokog kvaliteta.
- Ovaj povratni materijal uglavnom čine:
- ulivni sistemi i nalevci koji otpadaju prilikom čišćenja odlivaka,
 - loši proizvodi – izlivi čiji su nedostaci otkriveni u procesu proizvodnje,
 - strugotine nastale kod sečenja i mehaničke obrade delova,
 - troske koje nastaju pri topljenju bakra i njegovih legura.

Pored osnovnih sirovina, prilikom topljenja, moraju se koristiti i određeni pomoćni materijali u cilju dobijanja kvalitetnih odlivaka. Pomoćni materijali treba da zaštite osnovni materijal od oksidacije i upijanja gasova, kao i da odstrane nečistoće i gasove. Osim toga, isti treba da omogućе stvaranje što bolje strukture materijala modifikacijom u tečnom stanju. Kao modifikatori pri proizvodnji bakarnih legura koriste se teško topivi metali (Ti, V, Mo, W idr.).

Da bi se obezbedila odgovarajuća čistoća istopljenog metala, moraju se preduzeti mere zaštite prilikom topljenja. Istopljeni metal upija gasove stvarajući okside. Drveni ugalj je najjednostavnije sredstvo za zaštitu bakra. Njegovom primenom se na površini rastopa stvara redukciona atmosfera i sprečava obrazovanje oksida bakra, bez obzira na njegov visok afinitet prema kiseoniku. Za legure sa visokom tačkom topljenja (Cu-Sn, Cu-Al bronze i sl.), za zaštitu rastopa od oksidacije, koristi se kombinacija potaše, boraksa i lomljenog stakla. Za dezoksidaciju bakra i njegovih legura upotrebljava se legura fosfor-bakar (Cu_3P), koji se odlikuje nižom temperaturom topljenja od temperature topljenja datog materijala.

Jedan od efikasnih načina uklanjanja gasova iz istopljenog metala je produvanje metala inertnim gasom, najčešća azotom. Azot ne samo da služi za degazaciju, već istovremeno služi i za prečišćavanje materijala od nemetalnih uključaka i metalnih oksida prisutnih u istopljenom metalu. Mešanjem materijala nametalni uključci i oksidi metala isplivavaju na površinu

tečnog kupatila. Pored inertnih gasova, za degazaciju se upotrebljavaju soli na bazi hlora.

Jedan deo bakarnih otpadaka je dovoljno čist pa se može dalje prerađivati bez prethodne rafinacije. Tu spadaju otpaci žice, bakarnog lima i sl. Kod navedenih otpadaka često se i ne radi o čistom bakru, već o bakru sa dodatkom drugih elemenata (fosfor, kalaj, silicijum, cink i dr) u maloj količini.

Osnovno pravilo koje važi za pretapanje je da se pre početka šaržiranja peć dobro zagreje radi sto bržeg obrazovanja tečnog kupatila i topljenja sitnih komada, čime se izbegava preterana oksidacija prilikom topljenja. Jednorodne materijale treba stopiti i izliti u ingote, pa tek posle analize upotrebiti za izradu bakarnih legura. Ako je metal namenjen za izradu legura, treba ga potpuno dezoksidisati. Za sve druge vrste otpadaka bakra i njegovih legura primenjuje se rafinacija radi uklanjanja primesa i njihovo dovođenje u dozvoljene granice.

Proizvodnja bakarnih legura iz sekundarnih sirovina vezana je sa nizom poteškoća koje se uglavnom javljaju kao posledica činjenice da u sastav legure ulaze metali sa različitim fizičko-hemijskim osobinama (temperatura topljenja i isparavanja, napon pare, specifična težina, afinitet prema kiseoniku i dr.).

Komponente prisutne u šarži, za vreme topljenja u stalnoj su interakciji sa gasovima prisutnim u peći (kiseonik, azot, vodena para, ugljen-dioksid, ugljen-monoksid i dr.). Ovi gasovi se prema jednoj grupi prisutnih elemenata ponašaju kao oksidansi, a prema drugoj kao reducenti: pri zagrevanju peći pa sve do topljenja metala korisna je redukciona atmosfera u peći, dok je nakon topljenja u peći poželjna slabo oksidaciona atmosfera.

Za topljenje pripremljenih sekundarnih sirovina u cilju dobijanja legura na bazi bakra koriste se razni agregati: šahtne peći, konvertori, plamene (lončaste i koritaste) peći, kratke bubnjaste peći, električne peći (elektrolučne, elektrootporne, indukcione) [2].

U konvertorima se mogu prerađivati sekundarne bakarne sirovine sa sadržajem bakra preko 96% (odmašćen Cu špon, paljena žica i bez izolacije, stari bakar, blister idr.).

U peći za plamenu rafinaciju bakra, zajedno sa blister bakrom, uz korišćenje dopunskog zagrevanja, može se prerađivati sekundarni bakar sa sadržajem bakra preko 99,6% (odmašćen Cu špon, Cu otpadak i dr.).

Sekundarne sirovine sa sadržajem bakra preko 99,95% (oljušteni kablovi i žica, bakarne cevi i dr.) prerađuju se i u Asarko peći direktno u blokove i trupe (količina dodatih sekundarnih sirovina je do 30% u odnosu na katodni bakar).

Nestandardne, niskokvalitetne sitnozrne bakarne sekundarne sirovine (šljake, cementni muljevi, prašine i dr.) mogu se prerađivati preko plamenih peći zajedno sa bakarnim pržencem.

Sitnozrne nestandardne bakronosne sirovine, kao i mešani bakarni otpadak različite granulacije, prerađuje se u šahtnim pećima, obrtnim plamenim pećima i dr. U šahtnoj peći mogu se prerađivati, pored nestandardnih sitnozrnih sirovina (koje se prethodno okrupne) i krupnokomadaste sekundarne sirovine različite granulacije bogate bakrom (do 99% Cu i više) kao i sekundarne sirovine na bazi bakarnih legura.

3.1. Topljenje u šahtnim pećima i konvertorima

Jedan od najstarijih metalurških postupaka za topljenje sekundarnih bakronosnih sirovina je topljenje u šahtnim pećima. Topljenje u njima je po svom karakteru redukciono. Ove peći mogu imati, kako pravougaoni, tako i okrugli presek sa površinom u oblasti duvnice 1-10 m². Učinak peći je 30-40 t/m² na dan i jako zavisi od kvaliteta šarže. Od ovoga zavisi i količina reducenta, koja pri visokim sadržajima cinka i kalaja treba da bude znatno iznad 10% od težine šarže.

Produkti šahtnog topljenja su crni bakar, koji kao primese sadrži cink, kalaj i olovo, prašina koja sadrži kalaj, cink, olovo, bakar i drige primese i šljaka. Ispuštanje šljake i metala izvodi se zajedno u jedan agregat, gde se vrši razdvajanje i dobijanje šljake sa malim sadržajem metala. Ovako dobijeni crni bakar se rafiniše od neželjenih primesa, a ponekad koristi za izradu legura. Kompleksno iskorišćenje svih komponenata iz prašine realizovano je samo u nekim topionicama.

Američka firma "Americen Smelting and Refining Co" (ASARCO) je još sedamdesetih godina prošlog veka razradila specijalnu konstrukciju šahtnih peći za topljenje metala. Peć je namenjena za pretapanje krupnokomadastog čistog bakarnog loma i bakarnih katoda i zagrava se tečnim ili gasovitim gorivom. U gornjem delu u šahtu peći šaržiraju se krupni komadi. Kapacitet peći je vrlo veliki (do 80 t/h Cu) i lako se reguliše pomoću brizgaljke gorionika [9].

Pri topljenju na crni bakar u šahtnim pećima, iskorišćenje bakra iznosi 98%, pri čemu u šljaku prelazi 1,5-2,0%, a u prašinu 0,2-0,4% od šaržiranog bakra. Pri topljenju, 12-15% cinka prelazi u crni bakar, 45-55% otparava sa gasovima i kondenzuje se u prašinu i oko 30% odlazi u šljaku. Olovo 60-65% prelazi u crni bakar, a ostala količina se raspodeljuje između prašine i šljake (po 50%). Kalaj 65-75% prelazi u crni bakar, 25-30% odlazi u šljaku, a 2-4% sa gasovima u prašinu.

Mešani bakarni lom slabo kontrolisanog sastava često se prerađuje u konvertorima. Pri tome se šarža topi zajedno sa reducentom i rastop prodivava vazduhom, radi odstranjenja lako isparljivih primesa – ci-

nka, kalaja i olova. Zapremina konvertora za pretapanje loma i otpada bakra i njegovih legura je tolika da može da primi 8-20 t metala. Osnovni nedostatak prerađe loma i otpada u konvertoru u odnosu na šahtno topljenje je rasejavanje korisnih komponenata u različite produkte. Ovi se gubici smanjuju dobrom pripremom otpadaka za topljenje.

Konvertori obično rade u sprezi sa šahtnom peći, tako da se crni bakar, dobijen u šahtnoj peći, dalje prerađuje u konvertoru radi uklanjanja primesa iz metala. Usavršavanje procesa konvertovanja crnog bakra ostvaruje se poboljšanjem mehaničkog čišćenja duvnica, povećanjem njihovih dimenzija, primenom vazduha obogaćenog kiseonikom, hermetizacijom i dr. Jedan od perspektivnih puteva intenzifikacije procesa je primena prirodnog gasa radi delimične zamene koksa. Pri tome se otparavanje cinka jako intenzivira i dostiže 95-96%.

3.2. Topljenje u plamenim i kratkim bubnjastim pećima

Lončaste peći (stabilne i nagibne) koriste se u slučajevima kada je potrebna manja količina istopljenog metala. Potrebna količina toplote dobija se sagorevanjem gasovitog ili tečnog goriva. Čvrsto gorivo se retko upotrebljava zbog niskog iskorišćenja toplote. Najširu primenu za topljenje primarnih i sekundarnih sirovina našli su grafitni lonci izrađeni od mešavine šamota, usitnjenog koksa, grafita, vatrostalnog materijala itd.

Topljenje primarnih i sekundarnih sirovina na bazi bakra i bakarnih legura u plamenim pećima vrši se u slučajevima kada su potrebne veće količine metala za livenje krupnijih odlivaka. U plamenim pećima metal se zagreva neposredno kontaktom sa plamenom i odlazećim gasovima i toplotom zračenja produkata sagorevanja i užarenih zidova peći. Time se obezbeđuje potpunije iskorišćenje toplote u poređenju sa lončastim pećima. Prednosti plamenih peći u odnosu na lončaste su proizvodnja veće količine rastopa homogenog sastava, regulacija hemijskog sastava u toku procesa, uspešna rafinacija rastopa topiteljima zbog male dubine i veće površine metalnog kupatila, pretapanje krupnijih otpadaka i dr. Osnovni nedostaci su neposredni kontakt rastopa metala sa plamenom, otežana regulacija atmosfere peći, mogućnost zasićenja rastopa metala gasovima i dr. [10].

Plamene peći često rade u sprezi sa mikserom. Rad peći u kompleksu sa mikserom skraćuje period razliva metala i povećava kapacitet peći za 15-20%. Iskorišćenje metala u gotov proizvod iznosi 93-95%, u povratne materijale odlazi 3-4%, a u šljaku 1,5-2,5%. Količina topitelja iznosi 1,2-2,4% od težine šarže.

Za topljenje mesinga i bronzne u obliku blokova i odlivaka koriste se kratkobubnjaste plamene peći. Kapacitet peći je 7-10 t šarže i izrađuju se zajedno sa livnom trakom. Dužine su oko 3 m, a prečnika 2 m. Za topljenje se koriste pripremljene bakarne sekundarne sirovine, sveže sirovine i vrši se legiranje radi dobivanja legura standardnog kvaliteta. Vreme topljenja u ovakvim pećima je oko 8 sati. Temperatura metala u peći pre livenja je 1100-1150°C, a sagorevanje cinka iznosi 15-17%. Peći mogu biti snabdevene sa cevima (kopljima) za oksidaciju metala. Vazduh se ubacuje pod pritiskom preko uronjene cevi u tečan metal i vrši se oksidacija primesa, sve dok se ne postigne zahtevani sadržaj bakra. Nakon toga proces oksidacije se prekida i pristupa se legiranju, a nakon toga legura izliva u blokove.

Slične peći, samo većih dimenzija (dužina 6 m, prečnik 2,8 m – spoljne mere) koriste se za proizvodnju plameno rafinisanog bakra i katodnog vajerbara. Ove peći, takođe, imaju cev za uduvavanje vazduha i istovremeno posle uduvavanja vazduha vrši se dezoksidacija. Uložak u peći je 18-26 t, a vreme topljenja jedne šarže iznosi 10-12 sati. Peći su većih dimenzija da bi se u njima izvelo topljenje, oksidaciona rafinacija, potom redukcija i dezoksidacija metala. Ove operacije i proizvodnja bakra vrše se u šahtnoj peći u konvertoru i u tzv. anodnim pećima, tj. u dva ili više topioničkih agregata. Sam proces topljenja sastoji se od sledećih faza: topljenja, oksidacije primesa, vađenja šljake i redukcije rastvorenih oksida. Posle ovih faza vrši se livenje na temperaturama 1170-1190 °C. Potrošnja goriva (nafta ili mazuta) kod ovih peći je oko 5 kg/min, a kod manjih iznosi oko 2,5 kg/min [10].

Topljenje na mesing i bronzu vrši se u manjim pećima. Moguća je oksidacija primesa ubacivanjem koplja kroz koju se uduvava vazduh. Odnos dužine prema prečniku je takav da je dužina peći neznatno veća od njenog prečnika. Peći za topljenje bakra nakon plamene rafinacije su znatno duže i u njima se izvodi znatno veći broj metalurških procesa. Kod topljenja u ovakvim pećima posle stapanja u oksidacionoj sredini, oksidacija bakra se izvodi posle topljenja šarže i skidanja šljake, uranjanjem cevi obložene vatrostalnim izolacionim materijalom i prođuvavanjem istopljenog bakra komprimovanim vazduhom (1-4 bara). Pri tome se stvara bakarni oksid, koji zatim oksidiše primese (Zn, S, Fe, Pb, Sn, As, Sb, Ni, Bi i Ag). Obrazovani oksidi se odšljakuju sa SiO₂ ili otparavaju i kondenzuju sa prašinom. Nakon skidanja šljake, istopljeni metal sadrži i do 11% bakar(I)-oksida. Redukcija se ostvaruje polanjem, tj. uvođenjem ugljenika iz sirovih bukovih trupaca u rastop. Atmosfera u peći postaje redukciona, a površina metala pokrivena drvenim ćumur. Polanje se izvodi u dve faze. Polanje odmah posle

dezoksidacije je polanje na gustinu. Potom se dodaje i raspaljuje ćumur i vrši polanje na kovnost.

Za dezoksidaciju bakra može se koristiti i fosforbakar. Posle dezoksidacije vrši se livenje metala na livnoj mašini.

3.3. Topljenje u indukcionim pećima

Sa procesnog stanovišta topljenje u indukcionim pećima je jednostavnije u odnosu na prethodno opisane postupke topljenja, mada su ove peći tehnički znatno složeniji i skuplji agregati. Najviše se koriste za topljenje mesinga, bakra i dr. Sekundarni bakar i legure bakra mogu se pojaviti u komadastom obliku i u obliku strugotine. Poznato je da strugotine imaju razvijenu površinu i njihovo pretapanje je znatno teže.

Indukcione peći mogu biti kanalne i lončaste. Kod kanalnih peći tečni metal se u kanalu uvek predgreva i elektromagnetnim silama pokreće kroz kanal i na dnu peći odaje toplotu materijalu za topljenje. U lončastoj indukcionoj peći se toplota topljenja proizvodi u samom materijalu za topljenje. Preko namotaja se pobuđuje magnetno polje koje prolazi kroz materijal za topljenje gde se indukuje struja koja proizvodi toplotu topljenja.

Kod pretapanja strugotine neophodno je brzo potapanje materijala u rastopljeni metal radi manjeg odgora – oksidacije metala. Ovo je naročito važno za pretapanje mesinga zbog prisustva cinka. Kod lončaste indukciona peći pokretanje kupatila je takvo da mehaničko mešanje nije potrebno. Kretanje kupatila izaziva uvlačenje strugotine koja se topi bez prisustva vazduha.

Indukcione peći se najviše koriste za pretapanje mesinga. Opisane karakteristike ovih peći pokazuju da je pokretanje mase rastopa u kupatilu peći odlučujući faktor za ekonomično pretapanje mesingane strugotine kao jeftinijeg uložka. Kod pretapanja strugotine u lončastim indukcionim pećima, lonac za strugotinu treba da bude širi i plići nego kod pretapanja komadastog otpatka. Ove konstruktivne promene su proistekle iz sledećih razloga:

- da u gornjem delu lonca postoji dovoljno jako pokretanje mase kupatila,
- da se u otpacima mora indukovati velika električna snaga uz istovremeno izazivanje intenzivnog pokretanja kupatila.

Kanalne peći za mesing i bakar imaju niz prednosti u odnosu na lončastu:

- veći električni stepen korisnosti,
- manja električna snaga za isti kapacitet topljenja,
- nešto niži investicioni troškovi,
- manja potrošnja električne energije,
- manji troškovi za keramički ozid i dr.

Međutim, kada se uzme u obzir odgor metala pri pretapanju mesingane strugotine, postižu se obrnuti ekonomski efekti. Npr, za lončaste peći kapaciteta 7,5 t/h kod šarže sastavljene 80% od strugotine i 20% od komadastog materijala, odgor metala iznosi oko 3%, odnosno 225 kg.

Kod odgovarajuće kanalne peći, uz učešće strugotine sa 30% u šarži za topljenje, odgor metala iznosi oko 4,5%, odnosno 340 kg. Ako se dalje uporede troškovi topljenja, oni su za 12% manji kod lončastih peći i to za uložak 60% strugotina + 20% mesing + 12% katodni bakar + 8% cink u komadu za godišnju proizvodnju od 36.000 t. Kod godišnje proizvodnje od 15 000 t i istim uloškom, troškovi topljenja su za 11,4% niži kod lončastih peći.

Navedene činjenice pokazuju da je ekonomično upotrebljavati lončastu peć kada se prerađuje dovoljna količina strugotine. Ako je učešće strugotine u ulošku manje od 20% ne preporučuje se lončasta peć zbog manje ekonomičnosti.

4. ZAKLJUČAK

Postupci prerade sekundarnih sirovina bakra obuhvataju pripremu bakarnih otpadaka i njihovu dalju metaluršku preradu. Priprema otpadaka uključuje sortiranje, elektromagnetnu separaciju, razdvajanje, odmašćivanje i sušenje, briketiranje, elektrostatičku separaciju i dr. u zavisnosti od vrste sekundarne sirovine. Sve operacije pripreme utiču na efikasnost metalurške prerade, a time i na kvalitet dobijenih proizvoda. Pripremljen otpadak bakra i legura bakra predstavlja vrednu sirovinu za dalju metaluršku preradu u livnicama.

Za topljenje pripremljenih sekundarnih sirovina na bazi bakra koriste se šahtne peći, konvertori, plamene (lončaste i koritaste) peći, kratke bubnjaste peći i električne peći (elektrolučne, elektrootporne i indukcione). Topljenje u šahtnim pećima je jedan od najstarijih postupaka topljenja, pri čemu se dobija crni bakar, koji sadrži cink, kalaj, olovo i druge primese. Konvertori obično rade u sprezi sa šahtnom peći, tako da se crni bakar dalje prerađuje u konvertoru radi uklanjanja primesa iz metala.

U slučajevima manje količine istopljenog metala, za topljenje sekundarnih sirovina bakra koriste se lončaste, dok se za veće količine istopljenog metala i krupnije odlivke koriste plamene peći. Prednosti plamenih peći u odnosu na lončaste su proizvodnja veće količine rastopa homogenog sastava, regulacija hemijskog sastava u toku procesa, uspešna rafinacija rastopa topiteljima zbog male dubine i veće površine metalnog kupatila, pretapanje krupnijih otpadaka i dr. Za topljenje mesinga i bronz u obliku blokova i odlivka koriste se kratkobubnjaste plamene peći.

Topljenje u indukcionim pećima je jednostavnije u odnosu na prethodno opisane postupke topljenja, mada su ove peći tehnički znatno složeniji i skuplji agregati. Najviše se koriste za topljenje mesinga, bakra i dr. Mogu biti kanalne i lončaste. Kod pretapanja strugotine neophodno je brzo potapanje materijala u rastopljeni metal radi manjeg odgora.

ZAHVALNICA

Prikazani rezultati predstavljaju deo istraživanja u okviru projekata TR34023 i TR34002 čiju realizaciju finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Ilić, I, Stopić, S, Radovanović, N, Anđić, Z, Tasić, M, Prerada nestandardnog metalnog otpada niskog kvaliteta u cilju valorizacije bakra i njegovih legura. Tehnika, 51, 3, p. 13-19, 2000.
- [2] Muchova, L, Eder, P, Villanueva, A, End-of-waste Criteria for Copper and Copper Alloy Scrap: Technical Proposals. JRC Scientific and Technical Report, Scientific and Technical Research series, 2011.
- [3] Shamsuddin, M, Metal Recovery from Scrap and Waste, JOM, 38, 2, p. 24-31, 1986.
- [4] Ilić, I, Gulišija, Z, Sokić, M, Reciklaža metalčnih sekundarnih sirovina, ITNMS, Beograd, 260 s. (p), 2010.
- [5] Sokić, M, Ilić, I, Gulišija, Z, Štrbac, N, Manojlović, V., Postupci prerade sekundarnih sirovina bakra, Zaštita materijala, 54, 4, p. 409-414, 2013.
- [6] Friedrich, B, Kräutlein, Ch, Melt treatment of copper and aluminum – the complex step before casting, Metall. Mater. Eng, 12, 4, p. 251-266, 2006.
- [7] Kuprjakov, J, Radzihovski, V. A, Sbor i zagotovka loma i othodov cvetnih metallov, Metallurgija, Moskva, 1988.
- [8] Matković, V, Šaljić, L, Sokić, M, Ratković, S, Pašalić, S, Valorizacija cinka iz mesinganih šljaka, Monografija: Recikliranje otpadnog materijala i sekundarnih sirovina u funkciji zaštite životne sredine, Beograd, p. 182-187, 1995.
- [9] Günter, J, Kundig, K, Copper, Its Trade, Manufacture, Use, and Environmental Status, International Copper Association, p. 193-226, 1999.
- [10] Rentz, O, Krippner, M, Hähre, S, Schultmann, F, Report on Best Available Techniques (BAT) in Copper Production, Final Draft, French-German Institute for Environmental Research, 1999.

SUMMARY**METALLURGICAL PROCESSING OF COPPER SECONDARY RAW MATERIALS**

Procedures for copper secondary raw materials processing include two basic stages: pretreatment of the copper waste and its further metallurgical processing. For copper waste pretreatment technology, there are different applied procedures depending on the type of raw material. All operations of pretreatment are influencing the quality of metallurgical processing. For metallurgical processing of raw materials prepared for the purpose of obtaining copper and copper alloys the shaft, flaming and short-drum furnaces, converters and electric furnaces (electric resistant, electric arc and induction furnaces) are used.

Key words: *copper secondary raw materials, metallurgical processing, smelting*