MIS ERITISH SHLAKLARINI GIDROMETALLURGIK ZARARSIZLANTIRISH ORQALI ULAR TARKIBIDAN MIS VA RUXNI AJRATIB OLISHNING KOMPLEKS TEXNOLOGIYASI

Aminov Umidjon G'aybulla o'g'li
Qarshi davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
ORCID: 0009-0005-1451-4525
E-mail: umid9070707@gmail.com
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.23804837

Annotatsiya

Mis eritish shlaklaridan mis va ruxni ajratib olishni qoldiqning ekologik barqarorligini oshirish bilan birlashtiruvchi kompleks gidrometallurgik texnologiya taklif etildi. Ish ilmiy adabiyotlar tahlili, kimyoviy reaksiyalar stexiometriyasi va ssenariyli moddiy balansga asoslangan. Texnologiya shlakni mineralogik tavsiflash, oksidlovchi sulfat kislotali eritish, qattiq va suyuq fazalarni ajratish, misni selektiv ekstraksiyalash, temirni chiqarish, ruxni ajratish hamda qoldiq va aylanma suvni boshqarish bosqichlarini qamrab oladi. Eritish unumi bilan yakuniy mahsulotga o'tish darajasining farqi ko'rsatildi. Shartli 1000 kg shlak uchun hisobiy ssenariyda Cu va Zn ning umumiy ajralishi mos ravishda 88,20 va 89,24% bo'lib, bu qiymatlar tajriba natijasi emas. Kislota sarfi, kremniy gelining hosil bo'lishi, temir bilan birga cho'kish va qaytarma suvda tuzlar to'planishi asosiy cheklovlar sifatida tahlil qilindi. Zararsizlantirish samaradorligini metallarning umumiy miqdori bilan birga ularning pH va suyuqlik–qattiq faza nisbatiga bog'liq yuvilib chiqishi orqali baholash taklif etildi.

Kalit so'zlar: mis eritish shlaki, mis, rux, gidrometallurgiya, oksidlovchi eritish, suyuqlik ekstraksiyasi, moddiy balans, barqarorlashtirish, aylanma suv.

Kirish

Mis eritish shlaklarini qayta ishlashda ikki vazifa bir vaqtda hal qilinishi lozim: iqtisodiy qiymatga ega metallarni mahsulot oqimiga o'tkazish va qoldiqdan atrof-muhitga ko'chishi mumkin bo'lgan komponentlarni kamaytirish. Faqat metall ajralish foiziga yo'naltirilgan yondashuv ko'p miqdorda kislotali eritma yoki beqaror cho'kma hosil qilishi mumkin. Faqat neytrallashga asoslangan yondashuv esa mis va ruxni aralash shlam tarkibida yo'qotadi. Shu sababli qayta ishlashning natijasi eritish, mahsulot olish va qoldiqni boshqarish bosqichlari bo'yicha birgalikda baholanishi kerak.

Shlakning xususiyatlari eritish agregati, dastlabki konsentrat, flyus, sovitish tezligi va keyingi saqlash sharoitiga bog'liq. Mis metall tomchilari, sulfidlar, oksidlar yoki shishasimon fazada; rux esa oksid, silikat va murakkab temirli fazalarda uchrashi mumkin. Shu bois bir turdagi shlak uchun tanlangan rejimni boshqa xomashyoga o'zgarishsiz qo'llash ilmiy jihatdan asosli emas [1, 3].

Banza va hammualliflar oksidlovchi eritish bilan suyuqlik ekstraksiyasini birlashtirish imkoniyatini ko'rsatgan [4]. Urošević va hammualliflar sulfat kislota, Fe^{3+} va H_2O_2 ishtirokidagi tizimlarni taqqoslagan [5]. Gargul va hammualliflar harorat, kislota miqdori hamda suyuqlik–qattiq faza nisbatining rolini tekshirgan [6]. Mazkur ishlarning natijalari xomashyo farqlari sababli universal rejim bermaydi, biroq texnologik bosqichlarni tanlash uchun tayanch bo'lib xizmat qiladi.

Maqolaning maqsadi Cu va Zn ni alohida mahsulot oqimlariga ajratish, temirning eritmaga o'tishi va keyingi chiqarilishini nazorat qilish, qoldiqlarning yuviluvchanligini kamaytirish hamda suv-reagent

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

aylanishini muvofiqlashtiruvchi texnologik konsepsiyani asoslashdir. Ishning asosiy taklifi — eritish unumi, tozalashdagi yo'qotishlar va ekologik barqarorlikni yagona moddiy balans chegarasida baholashdir.

Tadqiqot metodologiyasi va ma'lumotlar chegarasi

Ish tahliliy-loyihaviy xarakterga ega; yangi laboratoriya yoki sanoat tajribasi o'tkazilgan deb da'vo qilinmaydi. Dalillar uch guruhga ajratildi: nashr etilgan tadqiqotlar; stexiometrik va balans tenglamalari; tajribada tekshirilishi lozim bo'lgan loyiha taxminlari. Manbalardagi shlaklar tarkibi va rejimlari bir xil bo'lmagani uchun ularning ajralish foizlari bitta umumiy tajriba qatoriga birlashtirilmadi.

Amaliy tekshirish uchun birlashtirilgan vakil namuna tayyorlash, namlikni aniqlash, umumiy element tarkibini ICP-OES yoki AAS orqali, faza tarkibini XRD hamda SEM–EDS yordamida tavsiflash ko'zda tutiladi. XRD dagi kristall fazalar bilan birga amorf tarkib va metallarning fazalar orasida taqsimlanishi hisobga olinadi. Dastlabki tarkib quruq massa asosida berilishi, element va oksid ko'rinishidagi natijalar esa bir xil yig'indiga nazoratsiz qo'shilmasligi kerak.

1-jadval. Shlak komponentlari va texnologik qarorlar o'rtasidagi bog'liqlik

Komponent yoki faza	Jarayondagi ahamiyati	Tekshiriladigan ko'rsatkich
Cu metall va sulfid fazalari	Oksidlovchiga talab va ochilish darajasi	Cu taqsimoti, oksidlanish-qaytarilish potensiali
Zn oksid va silikat fazalari	Kislota sarfi va erish tezligi	Zn ajralishi, qoldiqdagi fazalar
Fe silikat va oksid fazalari	Eritma yuklamasi va shlam hosil bo'lishi	Fe^{2+}/Fe^{3+}, Fe ning eritmaga o'tishi
Si saqlovchi matritsa	Gel hosil bo'lishi va filtrlanish	Filtr oqimi, kolloid Si, namlik
As, Pb, Cd kabi qo'shimchalar	Mahsulot tozaligi va qoldiq xavfi	Eritma, cho'kma va ekstraktdagi miqdor

1-jadval xomashyoni tavsiflash dasturidir; undagi fazalar muayyan namuna tarkibida aniqlangan deb talqin qilinmaydi. Kimyoviy analizning takrorlari, standart namunalar, blank sinovlar va eritma hamda qoldiqni parallel tahlil qilish orqali metall balansi tekshiriladi. Oqartirish yoki rang o'zgarishi metallning to'liq ajralganini tasdiqlovchi mezon sifatida qabul qilinmaydi.

Oksidlovchi eritishning fizik-kimyoviy asoslari

Sulfat kislotali eritishda oksid fazalari protonlar ta'sirida, metall va sulfid fazalari esa oksidlovchi ishtirokida eritmaga o'tadi. Quyidagi tenglamalar tanlangan fazalar uchun stexiometrik asosni ifodalaydi; real shlakda parallel reaksiyalar va oraliq mahsulotlar mavjud bo'lishi mumkin [1, 4, 5]:

$$CuO + 2H^+ \rightarrow Cu^{2+} + H_2O \quad (1)$$

$$ZnO + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2O \quad (2)$$

$$Cu + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow Cu^{2+} + 2H_2O \quad (3)$$

$$Cu_2S + 4Fe^{3+} \rightarrow 2Cu^{2+} + 4Fe^{2+} + S^0 \quad (4)$$

$$ZnS + 2Fe^{3+} \rightarrow Zn^{2+} + 2Fe^{2+} + S^0 \quad (5)$$

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

$$2Fe^{2+} + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2Fe^{3+} + 2H_2O \quad (6)$$

Fe^{3+} ionlari oksidlovchi sifatida sarflanadi, Fe^{2+} esa qayta oksidlanishi mumkin. Demak, eritmadagi temir faqat zararli qo‘shimcha emas, oksidlanish-qaytarilish aylanishining ishtirokchisi hamdir. Biroq Fe ning ortiqcha erishi keyingi tozalashni murakkablashtiradi. Oksidlovchi sarfi Cu va Zn miqdoriga emas, barcha oksidlanadigan komponentlar, Fe^{2+} va reagentning samarasiz parchalanishiga ham bog‘liq.

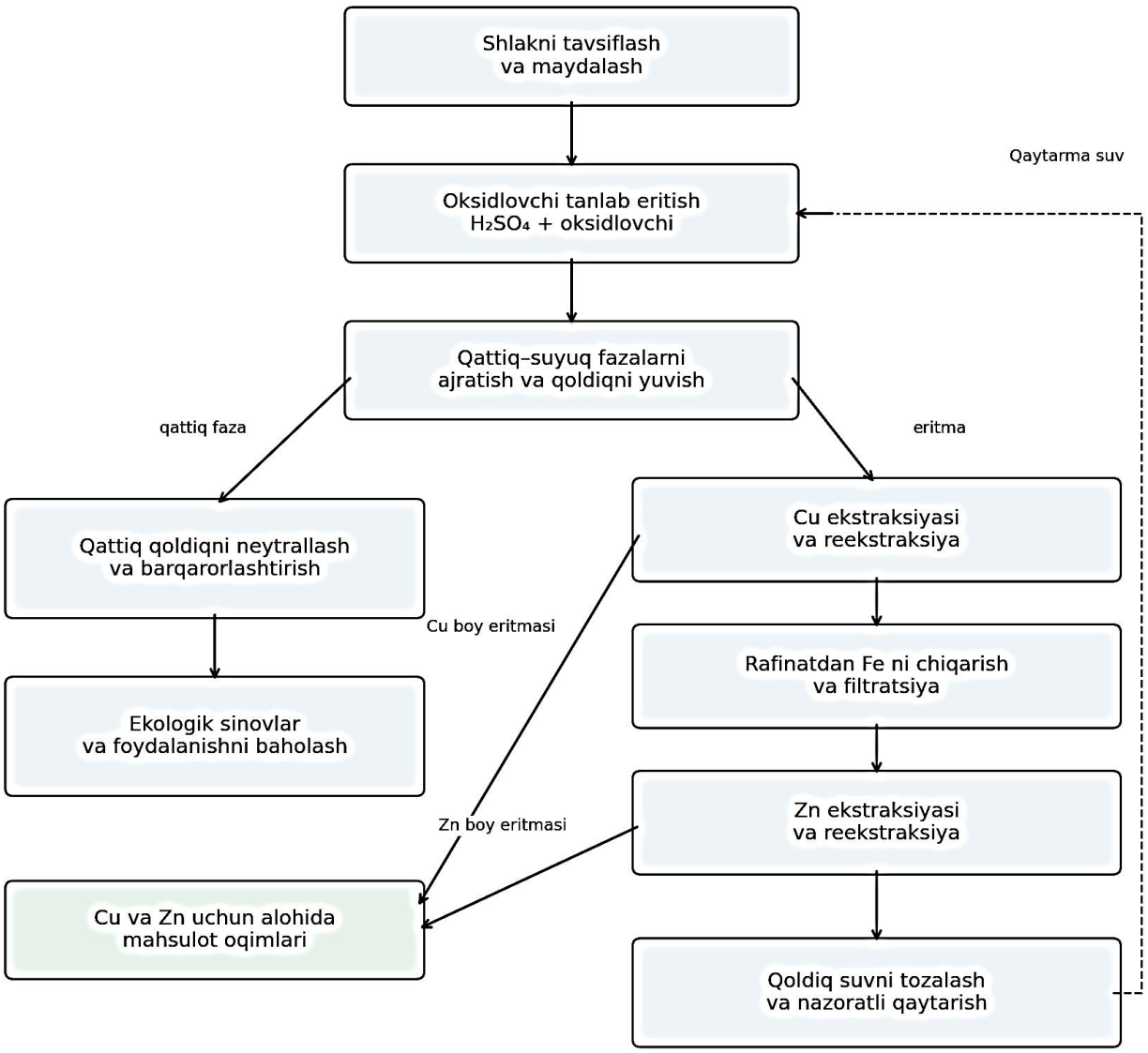
Fayalitning kislotada parchalanishi soddalashtirilgan holda $Fe_2SiO_4 + 4H^+ \rightarrow 2Fe^{2+} + H_4SiO_4$ ko‘rinishida yoziladi. Hosil bo‘lgan kremniy kislotasining polimerlanishi eritmaning qovushqoqligi va filtrlanishiga ta’sir qilishi mumkin. Shuning uchun yuqori kislota konsentratsiyasi yoki mayda zarracha har doim ham butun texnologiya uchun ustun natija bermaydi: metall ajralishi oshgan holda qattiq–suyuq ajratish unumdorligi pasayishi mumkin.

Oksidlovchini bir yo‘la ortiqcha berish o‘rniga potensial va reagent qoldig‘i bo‘yicha boshqariladigan dozalash taklif etiladi. ORP ko‘rsatkichi uchun elektrod turi, taqqoslash elektrodi va harorat yozib boriladi; turli elektrodlar bilan olingan qiymatlar bevosita solishtirilmaydi. H_2O_2 parchalanishida kislorod ajralishi va issiqlik hosil bo‘lishi hisobga olinib, reaktorning gaz chiqarish va sovitish imkoniyati jarayon loyihasida nazarda tutiladi.

Kompleks texnologik sxema

Taklif etilayotgan sxemada mahsuldor eritma bilan mineral qoldiq dastlab ajratiladi. Mis ajratilgandan keyingina rafinatdagi temir boshqariladigan cho‘ktirish orqali chiqariladi; keyingi bosqich ruxni boyitish va alohida mahsulot oqimiga o‘tkazishdan iborat. Bu ketma-ketlik mahsuldor eritmani to‘liq neytrallab, qimmatli metallarni bitta aralash shlamga o‘tkazish xavfini kamaytirishga qaratilgan (1-rasm).

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.



1-rasm. Mis va ruxni ajratish hamda qoldiqlarni boshqarishning taklif etilayotgan kompleks sxemasi. Uzluksiz chiziqlar moddiy oqimlarni, punktir esa nazoratli suv qaytarilishini bildiradi.

Birinchi bosqichda shlak maydalash va sinflashdan o'tkaziladi. Maqsad zarrachani imkon qadar kichraytirish emas, Cu va Zn saqlovchi fazalarni maqbul energiya sarfida ochishdir. Juda mayda fraksiya filtr keki qarshiligini oshirishi mumkin. Shu sababli maydalash samarasi metall ajralishi bilan birga filtrlanish tezligi va mahsulotga umumiy ajralish bo'yicha baholanadi.

Ikkinchi bosqichda aralashtiriladigan reaktorda kislotali oksidlovchi eritish amalga oshirilishi rejalashtiriladi. Eritishdan so'ng pulpa filtrlanadi, kek esa qarama-qarshi oqimli yuvish imkoniyati hisobga olingan holda yuviladi. Birinchi yuvindi mahsuldor eritmaga qo'shiladi; keyingi yuvindilardan

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

qayta foydalanish uning tarkibi bilan belgilanadi. Bu bosqichni hisobga olmaslik kek namligida qolgan eritma sababli Cu va Zn yo'qotilishini kamaytirib ko'rsatadi.

Uchinchi bosqichda tindirilgan eritmadan Cu selektiv suyuqlik ekstraksiyasi orqali ajratiladi. Yuklangan organik faza yuviladi va reekstraksiya orqali mis boy eritmasi olinadi. Eritmaning tozaligi hamda konsentratsiyasi yetarli bo'lsa, u elektrolitik mis olishga yo'naltiriladi. Muqobil mahsulot tanlanganda tegishli sifat talablari alohida belgilanadi; ekstraksiyaga o'tgan metall avtomatik ravishda tayyor katod mis deb hisoblanmaydi.

To'rtinchi bosqichda Cu rafinatidan temir chiqariladi, filtrlangan eritmadan esa Zn ekstraksiyasi va reekstraksiyasi bajariladi. Rux oqimi elektroliz yoki tozalangan tuz mahsuloti olish uchun tayyorlanishi mumkin. Har ikkala yo'nalishda ham Fe, Cu va boshqa qo'shimchalarning rux mahsulotiga o'tishi nazorat qilinadi. Organik fazaning eritmada qolishi va fazalar ajralish tezligi bosqich tanlashdagi alohida mezonlardir [4, 9].

Eritish rejimini tanlash va kinetik tahlil

2-jadvalda laboratoriya tekshiruvining boshlang'ich omillar sohasi taklif etilgan. Bu oraliqlar tasdiqlangan optimal rejim yoki sanoat reglamenti emas. Tajriba rejasida avval omillar saralanadi, so'ng muhim omillar o'zaro ta'siri ko'p omilli tajriba orqali baholanadi. Metall ajralishi bilan birga Fe ning eritmaga o'tishi, kislota sarfi va filtrlanish ham javob ko'rsatkichlari sifatida olinadi.

2-jadval. Taklif etilayotgan dastlabki laboratoriya tekshiruvi sohasi

Omil	Boshlang'ich tekshirish sohasi	Asosiy javob ko'rsatkichi
Harorat	40–85 °C	Cu, Zn ajralishi va oksidlovchi sarfi
H_2SO_4 konsentratsiyasi	0,5–2,0 mol/l	Ajralish, qoldiq kislotalilik, Fe yuklamasi
Suyuqlik/quruq shlak	3–6 l/kg	Eritma boyligi va aralashtirish
Davomiylik	15–150 daqiqa	Ajralishning vaqt bo'yicha o'zgarishi
Zarracha yirikligi	d_{80} = 45–150 mkm	Fazalar ochilishi va filtrlanish
Oksidlovchi berish	ORP va qoldiq reagent asosida	Reagentdan foydalanish samarasi

Ajralish darajasi $\eta_i = 100m_i$,eritma/m_i,0 orqali aniqlanadi. Namuna olish jarayonida eritma hajmi o'zgarganda, eritmada qolgan metall massasiga avvalgi namunalarda chiqarilgan metall massasi qo'shiladi. Yuvindi alohida o'lchangan bo'lsa, uning hissasi ham balansga kiritiladi. Tajriba takrorlari asosida o'rtacha qiymat va tarqoqlik beriladi; boshlang'ich ma'lumotlar bo'lmasa, aniqlik ko'rsatkichlari sun'iy belgilanmaydi.

Siqiluvchi yadro modelida kimyoviy reaksiya va mahsulot qatlami orqali diffuziya bilan cheklanish quyidagi ifodalar orqali tekshiriladi [2, 8]:

$$1 - (1 - \alpha)^{1/3} = k_r t \qquad (7)$$

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

$$1 - 3(1-\alpha)^{2/3} + 2(1-\alpha) = kdt \qquad (8)$$

Bu yerda α — eritmaga o'tgan metall ulushi, t — vaqt, k_r va kd — mos modelning tezlik konstantalari. Harorat ta'siri ln k = ln A − E_a/(RT) tenglamasi bilan baholanadi. R = 8,314 J/(mol·K) qo'llansa, E_a dastlab J/mol da olinadi. Bir xil mexanizm mavjudligi tekshirilmasdan turli haroratdagi konstantalarni bitta Arrenius chizig'iga birlashtirish noto'g'ri talqin berishi mumkin.

Faqat chiziqlashtirilgan grafikning R^2 qiymati bilan cheklanmasdan, boshlang'ich α(t) fazosidagi xatoliklar, model qoldiqlari va zarracha o'lchami hamda aralashtirishga sezgirlik tekshiriladi. Ko'p fazali shlakda metallning bir qismi ochilmagan yoki qiyin eruvchan fazada qolishi mumkin; bunday holat bitta ideal zarracha modeli bilan to'liq ifodalanmaydi. Sun va hammualliflarning ichki diffuziyaga oid natijasi [7] hamda Gargul va hammualliflarning model taqqoslashi [6] ushbu cheklovni hisobga olish zarurligini ko'rsatadi.

Mis va ruxni eritmadan selektiv ajratish

Sulfatli eritmadan misni gidroksioksimli ekstragent, jumladan LIX 984 turidagi reagent orqali ajratish adabiyotlarda ko'rsatilgan [4, 9]. Soddalashtirilgan ion almashinish ifodasi $Cu^{2+}aq + 2HRorg \rightleftharpoons CuR_2org + 2H^+aq$ tarzida yoziladi. Muvozanat pH, ekstragent konsentratsiyasi va eritma tarkibiga bog'liq; shu sababli organik faza sarfi faqat eritmadagi Cu massasidan kelib chiqib belgilanmaydi.

Taqsimlanish koeffitsiyenti $D_i = C_i,org/C_i,aq$, ajratish koeffitsiyenti esa βCu/Zn = DCu/DZn bilan tavsiflanadi. Yangi, metallsiz organik faza bilan bitta ideal muvozanat kontaktida ekstraksiya ulushi e = Dr/(1 + Dr), bunda r = Vorg/Vaq. Amaldagi ko'p bosqichli qurilma uchun muvozanat izotermalari, fazalar oqimlari, yuklanish sig'imi va fazalararo olib ketilish alohida tekshiriladi. Yuqori β mavjudligi o'z-o'zidan yuqori mahsulot tozaligini kafolatlamaydi.

Cu dan keyin Fe ni chiqarishda neytrallash darajasi bosqichma-bosqich oshiriladi. Fe^{3+} gidrolizi $Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3H^+$ reaksiyasi orqali kislotalilik hosil qiladi; demak, reagent sarfi faqat boshlang'ich erkin kislota bilan belgilanmaydi. Hosil bo'lgan cho'kmada Cu va Zn ning sorbsiyasi yoki birga cho'kishi tekshiriladi. Temirni chiqarish sharoiti eritma tarkibiga qarab tanlanadi, universal pH qiymati tayinlanmaydi.

Temirdan tozalangan eritmada Zn uchun D2EHPA kabi organofosfor ekstragentlar qo'llanishi mumkin [9]. Ruxning ekstraksiyasi, yuklangan fazani yuvish va reekstraksiya bosqichlari birgalikda optimallashtiriladi. Agar eritmada Co, Mn yoki Cd mavjud bo'lsa, ularning rux bilan birga o'tishi muvozanat tajribalarida baholanadi. Qo'shimchalar uchun talablar mahsulot turidan kelib chiqadi; ushbu maqolada tasdiqlanmagan tozalik foizi keltirilmaydi.

Ssenariyli moddiy balans va sezgirlik tahlili

Hisobiy misol uchun 1000 kg quruq shlak, 1,20% Cu va 3,00% Zn qabul qilindi. Bu tarkib loyiha taxmini bo'lib, yuklangan namunaning yangi kimyoviy tahlili emas. Cu va Zn ning eritishga o'tishi mos ravishda 90 va 92%, eritmaga o'tgan metallarni yakuniy mahsulot oqimiga ajratish esa 98 va 97% deb olindi. Oxirgi koeffitsiyentlar filtratsiya, tozalash, ekstraksiya va mahsulot olishdagi barcha keyingi yo'qotishlarni birgalikda ifodalaydi.

$$m_i,0 = Mshlak \cdot w_i; \quad m_i,L = m_i,0 \cdot l_i \qquad (9)$$

$$m_i,P = m_i,0 \cdot l_i \cdot d_i; \quad \eta_i,um = 100 l_i d_i \qquad (10)$$

Bu yerda w_i — quruq shlakdagi metall massa ulushi; l_i — eritishda ajralish ulushi; d_i — eritmadan mahsulotga umumlashtirilgan o'tish ulushi; L va P mos ravishda eritma va yakuniy mahsulot oqimini bildiradi. Barcha foizlar formulalarda ulushga aylantiriladi. Natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

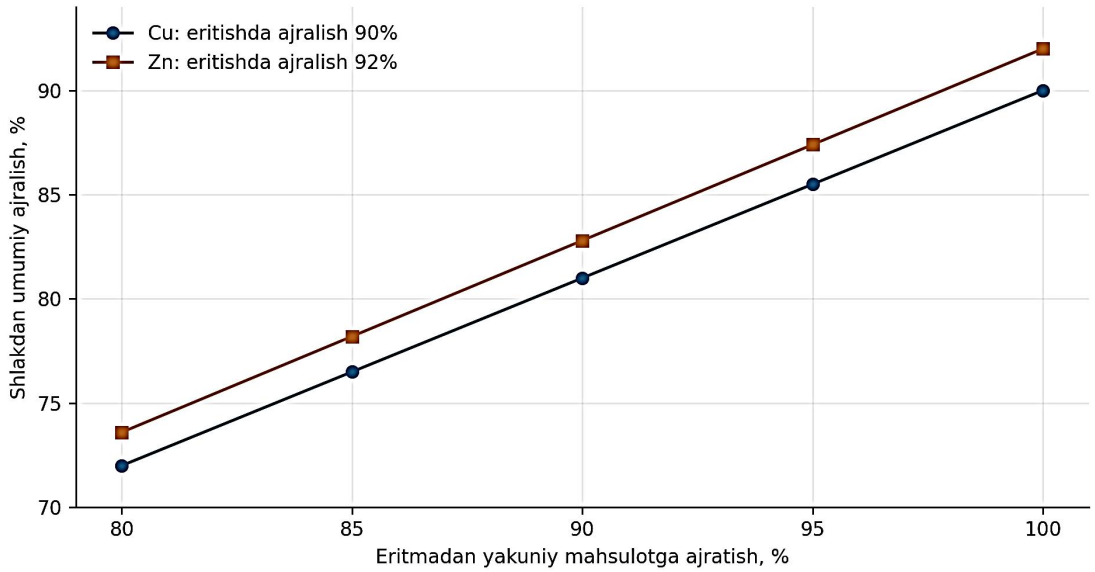
© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

3-jadval. 1000 kg shlak uchun shartli Cu va Zn balansi

Ko‘rsatkich	Cu	Zn
Boshlang‘ich metall, kg	12,000	30,000
Eritmaga o‘tgan metall, kg	10,800	27,600
Birlamchi qoldiqdagi metall, kg	1,200	2,400
Mahsulot oqimidagi metall, kg	10,584	26,772
Keyingi bosqichlarda ajralmagan metall, kg	0,216	0,828
Umumiy mahsulotga ajralish, %	88,20	89,24

Jadvaldagi miqdorlar metall ekvivalentida berilgan: ular katod, tuz yoki gidroksid mahsulotining umumiy massasi emas. Cu uchun 10,584 + 1,200 + 0,216 = 12,000 kg; Zn uchun 26,772 + 2,400 + 0,828 = 30,000 kg. Keyingi bosqichlarda ajralmagan metall cho‘kma, rafinat yoki boshqa oqimda bo‘lishi mumkin; bu oqimlar o‘lchanmaguncha ularning taqsimoti noma’lum qoladi.

2-rasm eritish ko‘rsatkichlari o‘zgarmas bo‘lganda keyingi ajratish bosqichining umumiy natijaga ta’sirini ifodalaydi. Masalan, Cu uchun keyingi ajratish 95% bo‘lsa, shlakdan umumiy ajralish 85,5%; u 98% ga yetganda esa 88,2% bo‘ladi. Demak, eritish unumini oshirish bilan bir qatorda filtratsiya va eritmani tozalashdagi yo‘qotishlarni kamaytirish ham zarur.



2-rasm. Eritmadan mahsulotga ajratish samaradorligining umumiy ajralishga hisobiy ta’siri. Cu uchun l = 0,90 va Zn uchun l = 0,92 qabul qilingan; grafik tajriba o‘lchovlarini ifodalamaydi.

Ushbu element balansi to‘liq texnologik massa balansining o‘rnini bosa olmaydi. To‘liq balansda kislota, oksidlovchi, suv, ohak, gaz, quruq qoldiq va nam shlam bir xil chegarada hisoblanadi. Kirim–chiqim farqi $\varepsilon_i = 100(m_{i,kirim} - m_{i,chiqim})/m_{i,kirim}$ bilan baholanib, uning qabul qilinadigan chegarasi tahlil usullarining noaniqligiga muvofiq belgilanadi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Kislota sarfi va suv aylanishini boshqarish

4 l/kg suyuqlik/quruq shlak nisbati va 1,5 mol/l boshlang'ich H_2SO_4 qabul qilinsa, 1000 kg shlak uchun eritma hajmi 4000 l, undagi sof kislota miqdori esa 4000 × 1,5 × 98,079/1000 = 588,47 kg bo'ladi. Bu qiymat eritishdan oldingi kislota yuklamasidir, kimyoviy sarf emas. Kislota sarfini topish uchun erkin kislotalilikning kirim va chiqimi, neytrallash, regeneratsiya va qaytarma oqimlar aniqlanishi kerak.

Kislota yuklamasining barcha qismi neytrallansa, faqat $H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$ reaksiyasi bo'yicha taxminan 444,56 kg sof $Ca(OH)_2$ va 1033,03 kg gips hosil bo'lishi hisoblanadi. Bu maxsus chegaraviy ssenariy bo'lib, amaliy ohak sarfi yoki shlam chiqishi emas: real jarayonda kislota shlak bilan reaksiyaga kirishadi, eritmalar qaytariladi, temir gidrolizi esa qo'shimcha kislotalilik yaratishi mumkin. Hisob barcha oqimni neytrallash katta ikkilamchi massa hosil qilishi mumkinligini ko'rsatadi.

Suvni qaytarish darajasi Qqaytarma/(Qqaytarma + Qyangi) orqali baholanadi; qaytarma oqim eritish hajmini to'ldiruvchi suv bilan bir xil hisob chegarasida olinadi. Yangi suv talabi bug'lanish, nam mahsulot va qoldiq bilan chiqish, yuvish hamda purj oqimiga bog'liq. Ca^{2+}, sulfatlar va boshqa to'planadigan komponentlar sababli to'liq yopiq aylanish har doim maqbul emas. Barqaror rejimda har bir to'planadigan komponentning kirimi mahsulot, qoldiq va nazoratli purj orqali chiqimiga teng bo'lishi lozim.

Qoldiqlarni zararsizlantirish va ekologik baholash

Zararsizlantirish ushbu konsepsiyada metallarni chiqarish, erkin kislotalilikni kamaytirish va qolgan komponentlarning harakatchanligini cheklashning birgalikdagi natijasidir. Eritish keki, temirli cho'kma va yakuniy suv tozalash shlami alohida tavsiflanadi. Ularni tekshirmasdan bitta oqimga aralashtirish qaysi bosqich ekologik xavfni yuzaga keltirganini aniqlashni qiyinlashtiradi. Shlaklarning ekologik xatti-harakati umumiy kimyoviy tarkibdan tashqari mineralogiya va muhitga ham bog'liq [10].

Yuvilgan qoldiqdagi kislotalilik nazoratli ohakli ishlov bilan kamaytirilishi mumkin. Metall gidroksidlari va gips hosil bo'lishi qattiq fazani ko'paytiradi, ammo metallarning uzoq muddatli immobilizatsiyasini avtomatik tasdiqlamaydi. Zarurat bo'lsa, bog'lovchi qo'shish orqali barqarorlashtirish sinovlari bajariladi; reagent va bog'lovchi turi yuviluvchanlik, mexanik xususiyat va ikkilamchi chiqindi miqdori bo'yicha tanlanadi.

Ekologik baholash uchun bir xil pH dagi bitta ekstrakt yetarli emas. EPA Method 1313 komponentlarning pH ga bog'liq suyuq–qattiq taqsimlanishini, Method 1316 esa tabiiy pH da suyuqlik–qattiq faza nisbati ta'sirini tekshirishga mo'ljallangan [11, 12]. Ular ushbu ishda metodologik namuna sifatida keltiriladi; mahalliy xavflilik sinfi yoki foydalanish ruxsatini bevosita belgilamaydi.

4-jadval. Qoldiq va qaytarma suv sifatini baholash dasturi

Tekshiriladigan oqim	Asosiy ko'rsatkich	Qabul qilishning mazmuni
Eritish keki	Cu, Zn qoldig'i; pH; yuviluvchanlik	Metall yo'qotilishi va ko'chuvchanligini aniqlash
Temirli cho'kma	Cu, Zn birga cho'kishi; namlik	Qayta ishlash ehtiyoji va xavfni baholash
Barqarorlashtirilgan qoldiq	pH va S/Q bo'yicha ekstraktlar	Tanlangan foydalanish sharoitiga moslik

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Tekshiriladigan oqim	Asosiy ko'rsatkich	Qabul qilishning mazmuni
Qaytarma suv	Cu, Zn, Fe, Ca, sulfat, organik qoldiq	Jarayonda to'planish va purj talabini aniqlash

Ekstraktdagi konsentratsiya bilan birga quruq qoldiq massasiga nisbatan ajralgan miqdor ham hisoblanadi: $q_i = C_i V/mq$, bunda C_i — mg/l, V — l, mq — kg bo'lsa, q_i mg/kg da olinadi. Ko'p bosqichli yuvishda har bir ekstraktning massasi yig'iladi. Natijalar boshlang'ich shlak va ishlov berilgan qoldiq uchun bir xil sinov sharoitida solishtiriladi. Aniqlash chegarasidan past natija nol konsentratsiya deb yozilmaydi.

Texnologik samaradorlik va joriy etish shartlari

Jarayonni baholash faqat Cu va Zn tushumini solishtirish bilan cheklanmaydi. Solishtirma xarajatlarga maydalash, isitish, aralashtirish, filtrlash, ekstragent yo'qotilishi, elektroliz, suv tayyorlash, neytrallash va qoldiqni boshqarish kiradi. Mahsulot daromadi esa uning metall miqdori, tozaligi va realizatsiya shakliga bog'liq. Narxlar, reagentning amaliy sarfi va uzluksiz qurilma ma'lumotlari bo'lmagani uchun bu ishda rentabellik foizi hisoblanmagan.

Isitishning minimal issiqlik talabi $Q = \Sigma m_j c_{p,j} \Delta T$ orqali baholanadi, biroq real talab issiqlik yo'qotilishi, bug'lanish va issiqlikni qaytarish darajasiga bog'liq. Xuddi shuningdek, peroksidning nazariy stexiometrik talabi uning amaliy sarfiga teng emas. Texnologiyani kattalashtirishda aralashtirishning massa almashinishga ta'siri, pulpa reologiyasi, filtr maydoni va ekstraksiyada fazalar ajralishi bir-biri bilan bog'liq holda tekshiriladi.

Laboratoriya natijasidan sanoat loyihasiga o'tish uchun kamida uchta masala hal qilinishi kerak: turli shlak partiyalarida rejimning barqarorligi; qaytarma eritma bilan takroriy sikllarda komponentlar to'planishi; Cu va Zn bo'yicha uzluksiz moddiy balansning yopilishi. Shundan keyingina yakuniy mahsulot sifati, ekologik talablarga moslik va iqtisodiy samara asosida texnologik variant tanlanadi.

Xulosa

1. Mis eritish shlaklarini qayta ishlash uchun oksidlovchi eritish, Cu ekstraksiyasi, Fe ni chiqarish, Zn ni ajratish va qoldiqlarni alohida boshqarishga asoslangan kompleks texnologik konsepsiya taklif etildi. Bosqichlarning ketma-ketligi metall ajratishni ekologik barqarorlik bilan bog'laydi.

2. Eritishga o'tish darajasi yakuniy mahsulotga ajralish bilan teng emas. Shartli 1000 kg shlak balansida 12 kg Cu va 30 kg Zn dan mahsulot oqimiga mos ravishda 10,584 va 26,772 kg metall o'tishi hisoblandi. 88,20 va 89,24% umumiy ajralish loyiha taxminlariga tegishli bo'lib, tajribada tasdiqlanishi zarur.

3. Jarayonning asosiy cheklovlari temirning ortiqcha erishi, kremniyli gel hosil bo'lishi, cho'ktirishda qimmatli metallarning yo'qotilishi hamda qaytarma suvda tuzlar to'planishidir. Rejimni tanlashda bu ko'rsatkichlar ajralish foizi bilan birga optimallashtirilishi kerak.

4. Qoldiqni zararsizlantirish samaradorligi faqat neytrallash pH i bilan emas, turli pH va suyuqlik–qattiq faza nisbatlarida yuviluvchanlik orqali tekshirilishi lozim. Xavflilik sinfi va qurilish materiallarida foydalanish imkoniyati alohida sinovlar bilan asoslanadi.

5. Taklif etilgan sxemani sanoatga tavsiya qilishdan oldin vakil namunalar, takroriy tajribalar, aylanma eritma sikllari va uzluksiz sinovlar asosida metall, suv hamda reagent balanslari aniqlashtirilishi kerak.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Schlesinger M. E., Sole K. C., Davenport W. G., Alvear Flores G. R. F. Extractive Metallurgy of Copper. 6th ed. Elsevier, 2021. ISBN 978-0-12-821875-4. https://www.sciencedirect.com/book/9780128218754/extractive-metallurgy-of-copper
2. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. 3rd ed. John Wiley & Sons, 1999. 668 p. ISBN 978-0-471-25424-9.
3. Gorai B., Jana R. K., Premchand. Characteristics and utilisation of copper slag—a review. Resources, Conservation and Recycling. 2003. Vol. 39, No. 4. P. 299–313. https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00171-4
4. Banza A. N., Gock E., Kongolo K. Base metals recovery from copper smelter slag by oxidising leaching and solvent extraction. Hydrometallurgy. 2002. Vol. 67, No. 1–3. P. 63–69. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X0200138X
5. Urošević D. M., Dimitrijević M. D., Janković Z. D., Antić D. V. Recovery of copper from copper slag and copper slag flotation tailings by oxidative leaching. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2015. Vol. 51, No. 1. P. 73–82. https://doi.org/10.5277/ppmp150107
6. Gargul K., Boryczko B., Handzlik P., Noga P., Palimąka P. Kinetics of copper leaching from direct-to-blister copper flash smelting slag by sulfuric acid. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2023. Vol. 23. Article 29. https://doi.org/10.1007/s43452-022-00567-6
7. Sun J., Zhang T., Shen P., Liu D., Dong L. Kinetics analysis of copper extraction from copper smelting slag by sulfuric acid oxidation leaching. Minerals Engineering. 2024. Vol. 216. Article 108886. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687524003157
8. Dong L., Mazzarino I., Alexiadis A. Development of Solid–Fluid Reaction Models—A Literature Review. ChemEngineering. 2021. Vol. 5, No. 3. Article 36. https://doi.org/10.3390/chemengineering5030036
9. Kongolo K., Mwema M. D., Banza A. N., Gock E. Cobalt and zinc recovery from copper sulphate solution by solvent extraction. Minerals Engineering. 2003. Vol. 16, No. 12. P. 1371–1374. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.09.001
10. Piatak N. M., Parsons M. B., Seal R. R. II. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. Applied Geochemistry. 2015. Vol. 57. P. 236–266. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.04.009
11. U.S. Environmental Protection Agency. SW-846 Method 1313: Liquid-Solid Partitioning as a Function of Extract pH Using a Parallel Batch Extraction Procedure. July 2017. Rasmiy manba: https://www.epa.gov/hw-sw846 (Method 1313). Usulning rasmiy sahifasi
12. U.S. Environmental Protection Agency. SW-846 Method 1316: Liquid-Solid Partitioning as a Function of Liquid-to-Solid Ratio in Solid Materials Using a Parallel Batch Procedure. July 2017. Rasmiy manba: https://www.epa.gov/hw-sw846 (Method 1316). Usulning rasmiy sahifasi

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.