



არსენოპირიტული მადნის ჰიდრომეტალურული გადამუშავების პროცესის შესწავლა დამუშავების დამატებისას

რეზიუმე

შესწავლილია არსენოპირიტული მადნის ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში გამოტუტვის პროცესი დამუშავებულად წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის გამოყენებით. დადგენილია გამოტუტვის პროცესის ოპტიმალური პირობები: $C_{NaOH} - 3-4$ მოლ/ლ; $\phi = 3-5$ სთ; $FeAsS:H_2O_2:O_3=1:3:3$; $n=750-800$ ბრ/წთ.

საკვანძო სიტყვები: გამოტუტვა, ნატრიუმის ჰიდროქსიდი, წყალბადის ზეჟანგი, ოზონი, არსენოპირიტი, რადიკალები, ამოღების ხარისხი, პოტენციალი.

საქართველოს ძირითად ოქროს საბადოს, რომლიდანაც ოქროს ამოღება ამჟამად მიმდინარეობს, მადნეულის ოქროს კვარციტული საბადო წარმოადგენს, თუმცა ოქრო ფერადი ლითონების მადნებშიც მოიპოვება, რომელთა ადგილზე გადამუშავება ოქროს წარმოებას გაზრდიდა ქვეყანაში. ერთ-ერთ ასეთ მადანს ცანის არსენოპირიტული მადანი წარმოადგენს, რომლის ჰიდრომეტალურული გადამუშავების შემთხვევაში შესაძლებელი იქნება ქვეყანამ არა მარტო ოქროს დამატებითი რაოდენობა, არამედ ისეთი მნიშვნელოვანი პროდუქტიც მიიღოს, როგორიცაა ლითონური დარიშხანი და მისი ნაერთები [1]. ლითონური დარიშხანი და მისი ნაერთები ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში - კერძოდ ნახევარგამტარულ ტექნიკაში. ეს უკანასკნელები თავის მხრივ გამოიყენება ჰპოვებენ ტექნიკის ისეთ მნიშვნელოვან დარგებში, როგორებიცაა რადიოელექტრონიკა, მიკროელექტრონიკა, ლაზერული ტექნიკა, მზის ბატარეები და სხვა.

დარიშხანის და ოქროს შემცველი სულფიდური კონცენტრატები და სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენები მათი ტექნოლოგიური მდგრადობის გამო ძირითადად პირომეტალურული მეთოდით გადამუშავდებიან, რომლის დროსაც მტკრისა და აირადი გოგირდის დიოქსიდის წარმოქმნა ხდება. გამონაბოლქვი

თ. ჟილოსანი¹, ი. კახნიაშვილი^{1,2},
ლ. ჩხიკვაძე², ზ. სვანიძე²,
ბ. გორელიშვილი²

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი¹
ი. ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
რ. აგლაძის სახელობის არაორგანული
ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტ²
i.kakhniashvili@gtu.ge

აირების გაწმენდა რთულია, ძვირია და ზოგიერთ შემთხვევაში არასაკმარისად ეფექტურიც. გოგირდის დიოქსიდი საწარმოდან ათასობით კილომეტრზე ვრცელდება და გლობალურ მასშტაბზე ზეგავლენას ახდენს გარემოზე. ამასთან დაკავშირებით მთელ მსოფლიოში დიდი ყურადღება ექცევა სულფიდური მადნებიდან და კონცენტრატებიდან ლითონების მიღებას ჰიდრომეტალურული მეთოდით [2,3], რომელიც უზრუნველყოფს გარემოზე მასშტაბურ ზემოქმედების შემცირებას.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს დარიშხან-შემცველი ნედლეულის, კერძოდ ცანის არსენოპირიტული მადნის გამოტუტვის პროცესის შესწავლა ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში დამუშავებულების - წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის დამატებისას.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ცანის არსენოპირიტული მადანი, შემდეგი ძირითადი შედგენილობით, %: $Fe - 44,12$; $S - 19,49$; $Ag - 40$ გ/ტ; $Au - 4-5$ T/B. ნედლეულის გამოტუტვის პროცესის მაღალი ეფექტურობის მისაღწევად ძალზედ მნიშვნელოვანია დამუშავებულების სწორად შერჩევა.

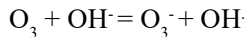
წყალბადის ზეჟანგი და ოზონი ძლიერ დამუშავებულებს მიეკუთვნებიან. ისინი გამოტუტვის პროცესის დროს ისეთ უსაფრთხო ნივთიერებებად იშლებიან როგორებიცაა წყალი და ჟანგბადი. ოზონი დიდი ხნის განმავლობაში მისი მაღალი კონცენტრაციისა და სიძვირის გამო სამრეწველო მასშტაბებით არ გამოიყენებოდა, თუმცა ახლა ახალი ტიპის ენერგოდამზოგი ოზონატორების შექმნამ მეტალურგიაში



მისი გამოყენების რენტაბელობა გაზარდა. ოზონის გარდა გამოტუტვის პროცესში სხვა დამჟანგველის გამოყენება ოზონის ხარჯს და პროცესის ხანგრძლივობას მნიშვნელოვნად ამცირებს.

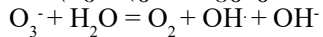
ოზონი და წყალბადის ზეჟანგი მჟავა გარემოში სულფიდურ მინერალებს ჟანგავს ელემენტური გოგირდის წარმოქმნით, ხოლო ტუტე გარემოში სულფიდური გოგირდი სულფატიონებად იჟანგება.

არსენოპირიტის ჟანგვის შემთხვევაში ოზონი და წყალბადის ზეჟანგი წყალხსნარებში ისეთ აქტიურ დამჟანგველებს წარმოქმნიან როგორებიცაა $\text{OH}^\cdot$, $\text{HO}_2^\cdot$ რადიკალები და $\text{O}_3^\cdot$. ტემპერატურის აწევა ამ პროცესებს უფრო აჩქარებს. ოზონისა და წყალბადის ზეჟანგის ერთდროული გამოყენება სარეაქციო არის ჟანგვით უნარს ამაღლებს, რადგან იცვლება დამჟანგველების შედეგნილობა და ჟანგვის პროცესის მქა-ნიზში. ცნობილია, რომ ტუტე ხსნარებში იონები კატალიზურ გავლენას ახდენენ ოზონის თვითდაშლის პროცესზე, რომლის დროსაც უფრო ძლიერი ჟანგვის უნარის მქონე $\text{OH}^\cdot$ რადიკალების გენერაცია ხდება შემდეგი რეაქციების მიხედ-ვით:



წარმოქმნილი ოზონიდ იონები ასევე იშლება

$\text{OH}^\cdot$ რადიკალების გენერირებით:

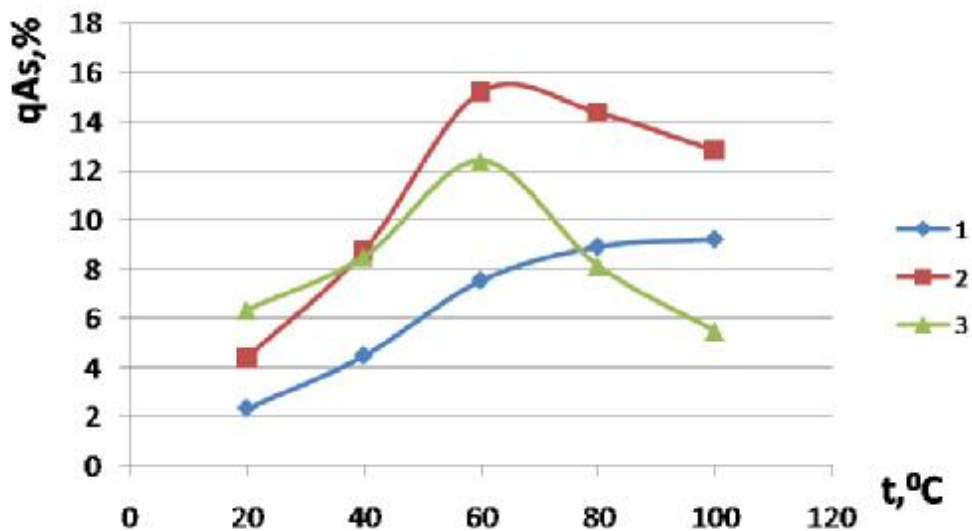


ამ რეაქციებით მიღებულ $\text{OH}^\cdot$ რადიკალებს

შეუძლიათ მონაწილეობა მიიღონ, ჟანგვით პროცესებში.

რაც შეეხება წყალბადის ზეჟანგს ის დამოუკიდებლად უფრო სუსტი დამჟანგველია, ტუტე ხსნარებში მისი პოტენციალი $E^\circ_{(\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^\cdot)} = 0,88\text{ვ}$. უტოლდება. გამოტუტვის პროცესში ოზონთან ერთად მონაწილეობისას მისი ჟანგვითი უნარი საგრძნობლად მატულობს [4,5].

ექსპერიმენტს ვატარებდით ორგანული მინი-სგან დამზადებულ ერთი ლიტრი მოცულობის მქონე, გამათბობლით და სარევიტ ადჰურვილ ცილინდრულ რეაქტორში. სუსპენზიის არევა ხდებოდა თვითრეგულირებადი Biosan MM-1000 ტიპის მექანიკური სარევიტ,ექსპერიმენტის დროს წყალბადის ზეჟანგი წვეთწვეთობით მინის საწვეთარიდან, ხოლო ოზონი ოზონატორიდან მთელი პროცესის განმავლობაში მიეწოდებოდა სუსპენზიას. ექსპერიმენტის მსვლელობისას წყალბადის ზეჟანგის და ოზონის დამატება სარეაქციო არეში ერთდროულად ხდება ძლიერი არევის პირობებში. ორივე დამჟანგველი სუსპენზიას სიღრმეში მიეწოდება, რის შედეგადაც რეაქტორში მდუღარე შრის მსგავსი ნაკადი წარმოიქმნება, რომელიც დროში ყავისფერდება რკინა(III) ჰიდროქსიდის წარმოქმნის გამო. გამოტუტვის პროცესის დროს pH მნიშვნელობა 10-12 ფარგლებში მერყეობს. სუსპენზიის დაწდობისა და $\text{Fe}(\text{OH})_3$ მოცილების შემდეგ ვახდენთ ხსნარების გაფილტვრას, ფილტრატი უკვე გაწმენდილი ხსნარია, რომელიც ძირითადად ნატრიუმის არ-

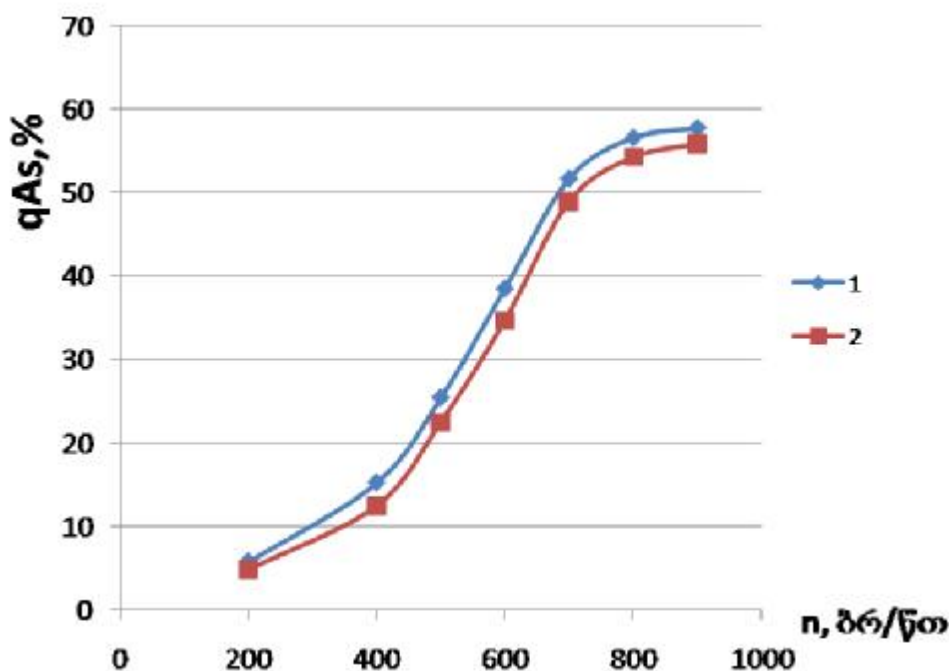


სურ. 1. არსენოპირიტის მადნიდან ღარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება ხსნარის ტემპერატურაზე

$C_{\text{NaOH}}=2$ მოლ/ლ, $t=3$ სთ, $n=400$ ბრ/წთ

1-დამჟანგველის გარეშე; 2- H_2O_2 დამატებისას; 3 - O_3 შეხვერვით.

2-დამჟანგველის გარეშე; 2- H_2O_2 დამატებისას; 3 - O_3 შეხვერვით.



სურ. 2. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება სარევის ბრუნთა რიცხვზე.

$C_{\text{NaOH}} - 2$ მოლ/ლ; $\phi - 3$ სთ; $t - 60-65^\circ\text{C}$;
1 - H_2O_2 ; 2 - O_3

სენატებისა და არსენიტებისაგან შედგება. მიღებული ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ამორებას ვახდენთ ელექტროლიზური მეთოდით.

შესწავლილი იქნა სხვადასხვა პარამეტრების გავლენა დარიშხანის ამოღების ხარისხზე. სურ. 1. ნაჩვენებია ტემპერატურის გავლენა არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის ამოწვლილების პროცესზე. როგორც სურათიდან ჩანს ტემპერატურის გაზრდა გარკვეულ ზღვრებში დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის ზრდას ხელს უწყობს, შემდეგ კი გამოტუტვის ხარისხი მცირდება.

კვლევამ აჩვენა, რომ დარიშხანის ამოწვლილების ხარისხი დამოკიდებულია სუსპენზიის არევის სიჩქარეზე, (სურ. 2). როგორც სურათიდან ჩანს ოპტიმალურად შეიძლება ჩავთვალოთ 750-800 ბრ/წთ-ში, უფრო მაღალ სიჩქარეზე ვიბრაცია იზრდება და მისი რეგულირება გართულებულია.

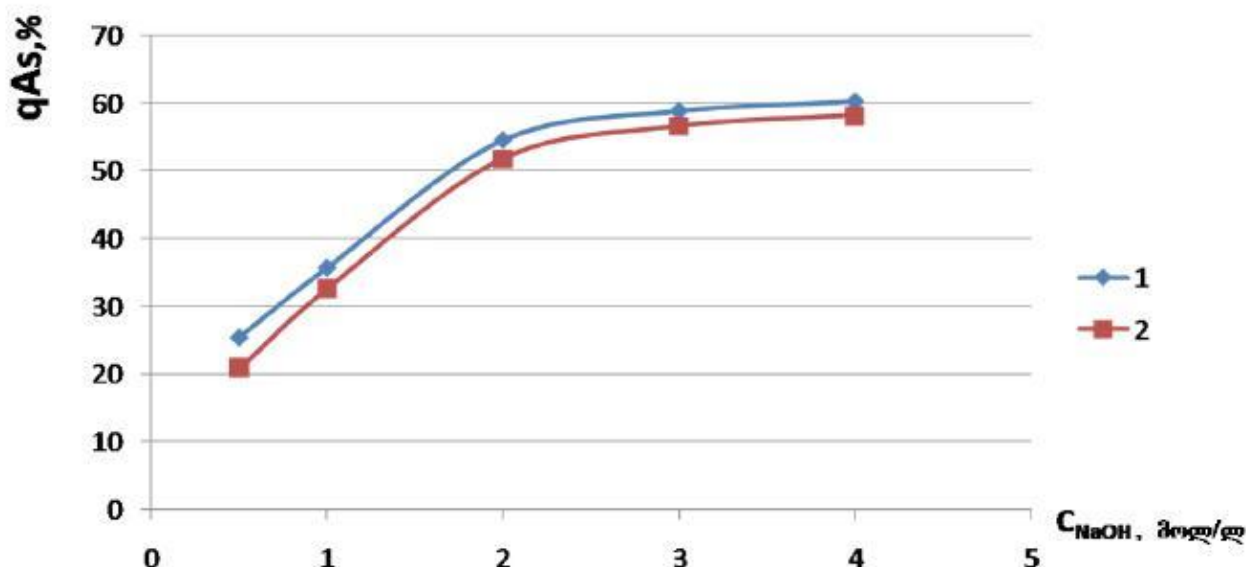
არსენოპირიტის გამოტუტვის პროცესზე ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის გავლენის შესწავლამ გვიჩვენა (სურ. 3), რომ სარეავაციო არეში მისი კონცენტრაციის ცვლილება დიდ გავლენას ახდენს დარიშხანის ამოღების ხარისხზე. კერძოდ, NaOH კონცენტრაციის

გაზრდისას 0,5 მოლ/ლ - დან 3-4 მოლ/ლ- მდე ხსნარში გადმოსული დარიშხანის რაოდენობა მნიშვნელოვნად იზრდება, კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა დარიშხანის ამოღების ხარისხზე ნაკლებად მოქმედებს.

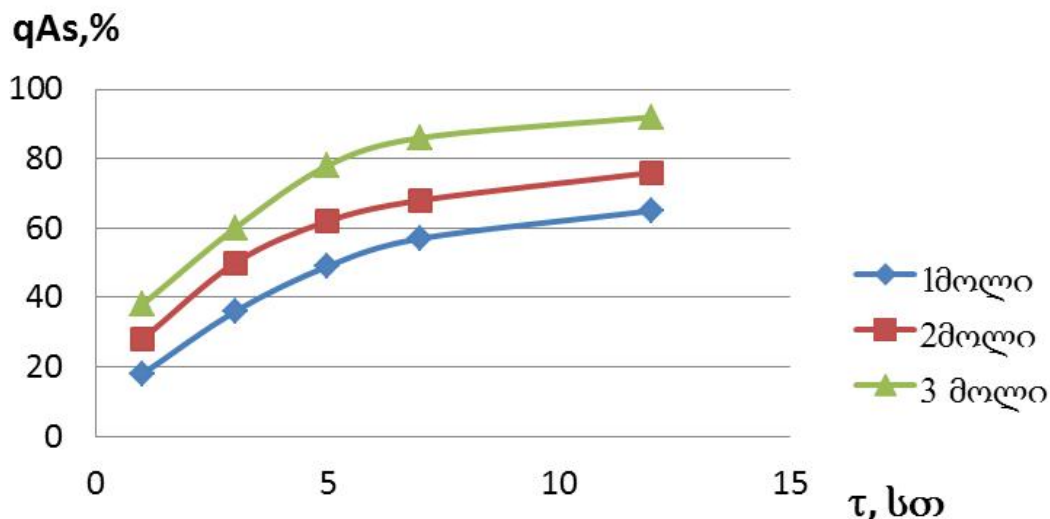
არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის ამოღების ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სუსპენზიაში მყარისა და თხევადის თანაფარდობა. როგორც კვლევამ აჩვენა მისი შემცირებით ამოღების ხარისხი იზრდება და ოპტიმალურად შეიძლება ჩაითვალოს 1:6-1:10 მყთხ თანაფარდობა, როდესაც დარიშხანის გადასვლა ხსნარში მაქსიმალურია.

არსენოპირიტის გამოტუტვის პროცესზე ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის გავლენის შესწავლამ გვიჩვენა (სურ. 3), რომ სარეავაციო არეში მისი კონცენტრაციის ცვლილება დიდ გავლენას ახდენს დარიშხანის ამოღების ხარისხზე. კერძოდ, NaOH კონცენტრაციის გაზრდისას 0,5 გ/მოლ-დან 3-4 გ/მოლ-მდე ხსნარში გადმოსული დარიშხანის რაოდენობა მნიშვნელოვნად იზრდება, კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა დარიშხანის ამოღების ხარისხზე ნაკლებად მოქმედებს.

არსენოპირიტის გამოტუტვის ხარისხზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს პროცესის ხან-



სურ. 3. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება ხსნარში NaOH კონცენტრაციაზე, მოლ/ლ.
მე/თხ=1/30, $t = 60-65^{\circ}C$; $\phi\phi - 3$ სთ; $n=750$ ბრ/წთ.



სურ. 4. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე.
დამჟანგველი - H_2O_2 ; $t = 60-65^{\circ}C$; $n=750$ ბრ/წთ.

გრძლივობა, როგორც დამჟანგველის ასევე დამჟანგველის გარეშე. სურ. 4 მოტანილია მრუდები, როლებიც ასახავს დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულებას პროცესის ხანგრძლივობაზე როდესაც დამჟანგველად გამოყენებულია წყალბადის ზეჟანგი.

სურ. 4-დან ჩანს, დარიშხანის ამოღების ხარისხზე პროცესის ხანგრძლივობა დიდ გავლენას ახდენს და ყველაზე მაღალ მნიშვნელობას 97,5%, 12 საათის შემდეგ აღწევს, მაშინ როდესაც ოზონის და წყალბადის ზეჟანგის ერთ-

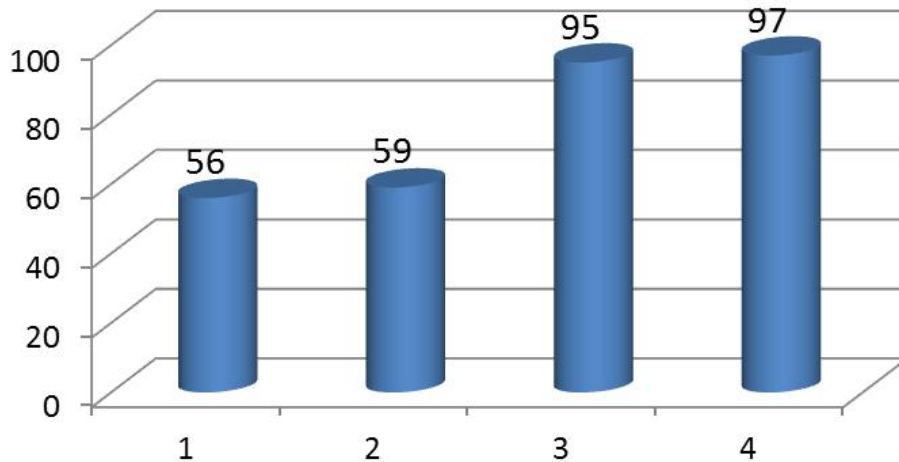
დროულად დამატებისას ამ პროცესი ხანგრძლივობა სამ საათამდე მცირდება.

გამოტუტვის პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანია ოზონისა და წყალბადის ზეჟანგის თანაფარდობა და შერევის რეჟიმი.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, წყალბადის ზეჟანგის და ოზონის დამატება სარეაქციო არეში ერთდროულად ხდება ძლიერი არევის პირობებში. ორივე დამჟანგველი სუსპენზიას სიღრმეში მიეწოდება, რის შედეგადაც რეაქ-



qAs, %



სურ. 5. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის ცვლილება დამჟანგველებისა და მათი თანაფარდობის ცვლილების მიხედვით.

C_{NaOH} – 3 მოლი/ლ, t – 60-65°C, ϕ – 3 სთ, n = 750 ბრ/წთ.

1. $FeAsS:H_2O_2=1:2$

2. $FeAsS:3=1:2$

3. $FeAsS:2:2:3=1:2:2$

4. $FeAsS: 2:2:3 = 1:3:3$

ტორში მდუღარე შრის მსგავსი ნაკადი წარმოიქმნება, ამ დროს ჟანგვის პროცესის ერთ-ერთ კინეტიკურ ფაქტორად შეიძლება ჩაითვალოს მორიაგირე ნივთიერებების შეხების ფართობი.

ხსნარი დროში ყავისფერდება რკინა (III) ჰიდროქსიდის წარმოქმნის გამო. გამოტუტვის პროცესის დროს მნიშვნელობა 10-12 ფარგლებში მერყეობს. სუსპენზიის დაწდობისა და $Fe(OH)_3$ მოცილების შემდეგ ვახდენთ ხსნარების გაფილტვრას, ფილტრატი უკვე გაწმენდილი ხსნარია, რომელიც ძირითადად ნატრიუმის არსენატებისა და არსენიტებისაგან შედგება.

გამოტუტვის პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანია ოზონისა და წყალბადის ზეჟანგის თანაფარდობა და შერევის რეჟიმი.

სურ. 5. ნაჩვენებია არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის ცვლილება დამჟანგველებისა და მათი თანაფარ-

დობის ცვლილების მიხედვით.

მიღებული შლამი წარმოადგენს კეთილშობილი ლითონებით გამდიდრებულ კონცენტრატს, რომელის ძირითადი შედგენილობაა, %: Fe-4,11; As_4 -0,35; S – 0,51;

Ag – 85,02 გ/ტ; Au – 20,05გ/ტ. გამოტუტვის შემდეგ დარჩენილი პულპა აღარ საჭიროებს განეიტრალებას, რადგან შიგნით ტუტე გარეშა და პირდაპირ ექვემდებარება ციანირების პროცესს. ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის მიღება ხდება ელექტროლიზური მეთოდით.

ამგვარად, შესწავლილი იქნა ცანის არსენოპირიტის მადნის ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში გამოტუტვის პროცესი დამჟანგველებად წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის დამატებისას.

დადგენილი იქნა აღნიშნული პროცესის ოპტიმალური პირობები: C_{NaOH} – 3-4 მოლი/ლ; $FeAsS: H_2O_2:O_3 = 1:3:3$; მყთხ = 1:6 1:10; t – 60-65 °C; τ – 3-5სთ; n = 750-800 ბრ/წთ.



გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ლ. ჩხიკვაძე, ი. კახნიაშვილი, ზ. ოქროსცვარიძე, ლ. ანთაშვილი, თ. წილოსანი. დარიშხანშემცველი სულფიდური ნედლეულიდან ოქროს ამოღების შესაძლებლობების კვლევა. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. ტ. 15, 12, 2015, გვ. 127-130
2. В.С. Чекушин, Н.В. Олейникова. Переработка золотосодержащих рудных концентратов. Металлургические процессы и металлообработка. Известия Челябинского научного центра, вып.4(30), 2005.
3. Alejandro Valenzuela^{1,2}, Jesus L. Valenzuela¹, Jose R. Parga². Effect of pretreatment of Sulfide Refractory Concentrate with Sodium Hypochlorite, Followed by Extraction of Gold by Pressure Cyanidation on Gold Removal, Advances in Chemical Engineering and Science. Vol. 3 No. 3(2013), Article ID:33942,7. Pg.DOI:10.4236/aces.2013.33021
4. Л.Н. Крылова, В.В. Панин, В.Г. Самойлович, Д.Ю. Воронин. Перспективы использования озона в гидрометаллургии: Матер. Второго Московского науч. Форума «Московская наука – проблемы и перспективы. V I науч.- практич. конф.». М., 2005. – с. 416-425.
5. L.Rusanen, J.Aromaa and O.Forsen, “Pressure Oxidation of Pyrite-Arsenopyrite Refractory Gold Concentrate, “Academic Journal, Physicochemical Problems of Mineral Processing, Vol.49,No.1, 2013, p.101. [Citation Time(s):1]

STADY OF THE PROCESS OF HYDROMETALLURJICAL PROCESSING OF ARSENOPYRITE ORE WITH THE ADDITION OF OXIDANTS

T. TSILOSANI, I.KAKHNIASHVILI, L.CHKHIKVADZE, Z.SVANIDZE, G GORELISHVILI

Georgian Technical Universiti

I.Javakhishvili Tbilisi State University

R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry and Electrochemistry

The process of alkaline leaching of arsenopyrite in a solution of sodium hydroxide with the addition of hydrogen peroxide and ozone as oxidants was studied. Optimal parameters of the process of leaching are established: C_{NaOH} -3-4 mol / l; $t = 60-65^{\circ}C$; $\tau = 3-5$ hours; $FeAsS:H_2O_2:O_3=1:3:3$; $n = 750-800$ turn/min.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ АРСЕНОПИРИТНОЙ РУДЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЕЙ

Т.А. ЦИЛОСАНИ, И.Б. КАХНИАШВИЛИ, Л.А.

ЧХИКВАДЗЕ, З.С. СВАНИДЗЕ, Г. Г. ГОРЕЛИШВИЛИ

Грузинский технический университет

Тбилисский Государственный Университет им. И. Джавахишвили,

Р. Агладзе Институт неорганической химии и электрохимии

Резюме

Изучен процесс щелочного выщелачивания арсенопиритной руы в растворе гидроксида натрия с добавлением перекиси водорода и озона в качестве окислителей. Установлены оптимальные параметры процесса выщелачивания: C_{NaOH} -3-4 моль/л; $t = 60-65^{\circ}C$; $\tau = 3-5$ ч; $FeAsS:H_2O_2:O_3=1:3:3$; $n=750-800$ об/мин.

ჟურნალი „სოციალური ეკონომიკა“ – XXI საუკუნის აქტუალური პრობლემები.
რეგისტრირებულია თბილისის რეგიონული ცენტრის (საგადასახადო ინსპექციის)
მიერ. რეგისტრაციის №19181.
რედაქტორის ტელ.: 2-36-51-16; 2-36-43-78; 599-33-53-92.
web: socialuri-economica.bpengi.com; www.socialuri-economica.ge
e-mail: social_economica@mail.ru; socialuri-economica@bpengi.com

გადაეცა ასაწეობად 15.01.17.
ხელმოწერილია დასაბეჭდად 18.01.17.
სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 19,75.

ტექნიკური რედაქტორი და კორექტორი: ნანა სახეჩიძე
სტილური რედაქტორი: ბადრი ცხადაძე
კორექტორები: თინა ცისკარიშვილი, ნანა ბოლქვაძე
კომპიუტერული უზრუნველყოფა და დიზაინი: ზურაბ წერეთელი