

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი მაისურაძე

სილიკომანგანუმის მიღების ახალი ტექნოლოგიური სქემის
დამუშავება ფეროშენადნობთა წარმოების მანგანუმშემცველი და
ნახშირბადშემცველი ნარჩენების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის შავი ლითონების მეტალურგიის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი ზურაბ სიმონგულაშვილი

რეცენზენტები: _____

დაცვა შედგება _____ წლის „_____“ _____, _____ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის _____ ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი _____, აუდიტორია _____ მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი _____

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

საქართველოს სამთო-მეტალურგიული წარმოება უკანასკნელ დრომდე საერთაშორისო მასშტაბის მსხვილ სამრეწველო კომპლექსთა რიცხვს მიეკუთვნებოდა. ბოლო წლებში წარმოების მკვეთრი დაცემის მიუხედავად, მისი წილი მანგანუმის მსოფლიო წარმოებაში მნიშვნელოვანია. ქვეყნის ინტერესებიდან გამომდინარე, საჭიროა უსწრაფესად მოხდეს მძიმე მრეწველობის ამ ტრადიციული დარგის შემდგომი განვითარება და მისი პროდუქცია გახდეს ქვეყნის სავალუტო შემოსავლების მნიშვნელოვანი წყარო.

მაღალხარისხოვანი მადნების დეფიციტის პირობებში დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად მეტად მნიშვნელოვანია სანედლეულო ბაზის გაფართოება, რაც თავისთავად გულისხმობს მანგანუმის დანაკარგების შემცირებას მისი გადამუშავების ყველა ეტაპზე.

ამ მიმართებით, პირველ რიგში, მეტად აქტუალური ხდება დნობის შედეგად წარმოქმნილი მანგანუმის ნარჩენების გამოყენება და მათი უტილიზაციის პრობლემა.

როგორც ცნობილია, სილიკომანგანუმის დნობისას წარმოიქმნება ძირითადად შემდეგი სახის ნარჩენები: ე.წ. გადასაყრელი წიდეები, აირგამწმენდ მოწყობილობებში დაგროვილი რესპირაციული მტვერი (შლამი) და მზა ლითონის სამსხვრევ უბანზე წარმოქმნილი წვრილდისპერსიული ლითონური მტვერი. გარდა ამისა, კოქსის გაცხრილვისას წარმოიქმნება 8–12% განაცერი (0–5მმ).

მანგანუმის ოქსიდების ნახშირბადთერმული აღდგენის თერმოდინამიკის, კინეტიკისა და დნობის ანალიზი ცხადყოფს, რომ მანგანუმის ოქსიდების შემცველობა საბოლოო (გადასაყრელ) წიდეებში ლითონურ მანგანუმზე გადათვლით 14-18%-ის, ზოგჯერ კი - 20-22%-ის ფარგლებშია. გარდა ამისა, ლითონური და წიდური ფაზების გაყოფის არახელსაყრელი პირობების გამო (წიდეების მაღალი სიბლანტე), ქერქოვან

და თხევად წილებში ლითონის ნაწილაკების სახით იკარგება უკვე აღდგენილი, მზა შენადნის 5-8%-ი და ამიტომაც მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება მისი ელექტროთერმული მიღებისას 70%-ს არ აღემატება.

ნარჩენები იმავე რაოდენობით გროვდება, რა რაოდენობის ლითონიც იწარმოება. გარდა ამისა, ზესტაფონისა და სხვა საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებულ წიდასაყრელებზე წლების განმავლობაში დაგროვდა რამდენიმე მილიონი ტონა წიდა, რომელიც იკავებს საკმაოდ დიდ ფართობებს და ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს, როგორც გარემოსთვის, ასევე რეგიონში მცხოვრები მოსახლეობისათვის.

რესპირაციული მტვერი (შლამი). რომლის შედგენილობაა: 25-38% Mn , 22-26% SiO_2 , 3-7% C და 0.15% P გროვდება ყოველ ტონა სილიკომანგანუმზე 100-120კგ, ხოლო ფერომანგანუმზე კი 150კგ. პრობლემა მისი უტილიზაციისა მდგომარეობს მის ფრაქციულობაში (0,1 მმ-ზე. ნაკლებია) და იგი ასევე დიდ ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს. გარდა ამისა, მზა ლითონის სტანდარტულ ფრაქციულობამდე მსხვრევისას, წარმოიქმნება წვრილდისპერსიული (0-3მმ) ლითონური მტვერი. მისი რაოდენობა გამომდნარი შენადნობის 3-5%-ია (8-10 ათასი ტ), ვერ ხერხდება მისი გამოყენება და ისიც დანაკარგების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენს.

ამრიგად, სილიკომანგანუმის დნობის დროს წარმოიქმნება ე.წ. გადასაყრელი წილები, რომლის ქიმ. შედგენილობაა: 14-18% Mn ; 45-48% SiO_2 , 0.01% P და მტვერი 25-38% Mn , 22-26% SiO_2 , 3-7% C , 0.15% P . შარშანდელი მონაცემებით ქარხანაში დაგროვდა 100-120 ათასი ტონა წიდა და 16-18 ათასი ტონა მტვერი, რაც ჯამში დაახლოებით 50 ათასი ტონა მაღალხარისხოვანი, დაბალფოსფორიანი კონცენტრატის ექვივალენტურია. ამას ემატება წინა წლებში დაგროვილი 200 ათასი ტონა შლამი და ყოველწლიურად წარმოქმნილი 8000-10000 ტონა ლითონური მტვერი, რომელიც ქარხნის ტერიტორიაზეა და დიდ ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს.

ზემოთ აღნიშნულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ მანგანუმის კონცენტრატების საყოველთაო დეფიციტის პირობებში, მანგანუმის სასარგებლო გამოყენება არ აღემატება 65-70%, რაც მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მეცნიერების და ტექნიკის თანამედროვე მოთხოვნებს, მის კონკურენტუნარიანობას და ეწინააღმდეგება ქვეყნის სტრატეგიულ მიზნებს.

ამრიგად, ნაშრომში დასმული **პრობლემა** - ეფექტურად და რაციონალურად იქნეს გამოყენებული ძვირადღირებული მანგანუმის შემცველი ნარჩენები, მოეძებნოს მას გადამუშავების თეორიული და პრაქტიკული გადაწყვეტა, მეტად **აქტუალურია** და დასაბუთებულია მისი არსი.

წარმოდგენილ ნაშრომში შემოთავაზებული მეცნიერული **კვლევების მიზანია**: დამუშავდეს ახალი, ეკონომიკურად გამართლებული და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტექნოლოგიური სქემა სტანდარტული სილიკომანგანუმის მიღებისა, კაზმში წარმოების ნარჩენებისაგან დამზადებული კომპლექსური ბრიკეტების გამოყენებით.

აღნიშნული **მიზნის** განხორციელება ტექნოლოგიური თვალსაზრისით გვესახება შემდეგნაირად: როგორც ვიცით წიდეები ძირითადად ორგვარია თხევადი (80%) და ქერქოვანი (20%). ქერქოვანი წიდეები, როგორც მანგანუმით უფრო მდიდარი, საჭიროა დაიმსხვრეს და პირდაპირ მიეწოდოს ლუმელს; ხოლო თხევად წიდეებს, საჭიროა ჩაუტარდეს გრანულაცია (პროცესი მარტივი და ეკონომიურია) და შემდგომ მტვერთან (შლამთან) და აღმდგენელთან (კოქსი, ანაცერი, ნახშირები) ერთად დაბრიკეტდეს. როგორც ჩვენმა, ასევე სხვა ავტორთა გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ მანგანუმისა და კაჟმიწის ღრმა და სრული აღდგენის ერთ-ერთი ძირითადი პირობა მდგომარეობს წიდის და აღმდგენლის კონტაქტის ხარისხში და მის ხანგრძლივობაში. აგრეთვე, ბრიკეტში ლითონური მტვერის არსებობა ხელს უწყობს აღდგენით პროცესებს.

კვლევის ძირითადი ამოცანებია:

- ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენების წარმოქმნის მექანიზმი, მისი გამოყენების შესაძლებლობა და პრობლემის შესახებ არსებული მასალების დამუშავება და ანალიზი.
- მანგანუმიანი ფეროშენადნობის წარმოების ახლანდელი მდგომარეობა და რაციონალური ტექნოლოგიური სქემების გამოკვლევა;
- მანგანუმის სასარგებლო გამოყენების და დანაკარგების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი სტრუქტურის დადგენა;
- გადასაყრელი წიდების და რესპირაციული მტვერის (შლამის) ფიზიკო-მექანიკური, ქიმიური, პეტროგრაფიული, სპექტროსკოპული, დიფერენციალურ-თერმული გამოკვლევა;
- წიდებში და მტვერში მანგანუმის, სილიციუმის და ფოსფორის არსებობის ფორმები, გამოკვლევა და დადგენა;
- წიდების აღდგენის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები, მანგანუმის და სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის რეაქციების თერმოდინამიკა;
- წილებიდან მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის კინეტიკის გამიკვლევა, მასში ლითონური მდგენელის არსებობისას.
- კოქსის ანაცერის და ადგილობრივი ნახშირების ფიზიკო-ქიმიური, ფრაქციული და მეტალურგიული თვისებების გამიკვლევა;
- გრანულირებული წიდის, მტვერის (შლამის) და კოქსის (ნახშირის) დაბრიკეტების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა და მიღებული ბრიკეტების მეტალურგიული თვისებების გამოკვლევა.

კვლევის მეთოდები: დასმული პრობლემის გადაწყვეტის ძირითადი მეთოდი მდგომარეობს უკვე არსებული, კარგად მომუშავე ღუმელების ტექნოლოგიური პარამეტრების გაანალიზებაში და ცალკეული მონაცემების გაუმჯობესებაში მეცნიერული და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით.

ჩატარებულ გამოკვლევებში გამოყენებული იყო ფიზიკო-ქიმიური ანალიზის თანამედროვე მეთოდები. სილიკომანგანუმის მისაღები კაზმის

კომპონენტების, მიღებული ლითონის და წიდის ანალიზი ტარდებოდა როგორც კლასიკური, ქიმიური მეთოდებით, ასევე თანამედროვე მაღალი სიზუსტის მქონე სპექტრომეტრის საშუალებით. ელექტროლუმელებში სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის მოდელირებისათვის შემუშავებული იქნა ექსპერიმენტის ჩატარების სპეციალური მეთოდი. ელექტროწინაღობის გაზომვები ტარდებოდა, როგორც მუდმივი დენის ხიდის – MO-62 საშუალებით, ასევე ცვლადი დენის შემთხვევაში ვოლტ-ამპერული მეთოდის გამოყენებით. ღუმელის ელექტრო პარამეტრების გაზომვა ხდებოდა სპეციალურად დამზადებული ელექტრო ზონდების საშუალებით, საცდელი დნობები ჩატარებულ იქნა 5,0 და 9,0 მვა სიმძლავრის ელექტროლუმელებში.

დასმული პრობლემის გადაწყვეტის მეცნიერული სიახლე, მდგომარეობს იმაში, რომ შემოთავაზებულია წარმოების ყველა წვრილდისპერსიული ნარჩენის ერთობლივად დანაჭროვნება დაბრიკეტების საშუალებით, მასში არადეფიციტური და შედარებით იაფი კოქსის ანაცერის ან ადგილობრივი ნახშირების გამოყენებით.

კომპოზიცია კომპლექსური ბრიკეტისა – გრანულირებული წიდა + რესპირაციული მტვერი (შლამი) + ლითონური მტვერი + კოქსის ანაცერი (ან ნახშირი) წარმოადგენს სიახლეს, რომელშიც აღდგენითი პროცესების ღრმა და სრულ წარმართვას უზრუნველყოფს მასში ლითონური მდგენელის არსებობა.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა: შემოთავაზებული ტექნოლოგიის მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში ნარჩენებისაგან მიღებული კომპლექსური ბრიკეტების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ მანგანუმის კონცენტრატების მოხმარება, კაზმიდან გამოვრიცხოთ დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდები, ძვირადღირებული იმპორტული კვარციტები და ნაწილობრივ ძვირადღირებული კოქსი. აღნიშნული ღონისძიებების ჩატარება

საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ ლითონის თვითღირებულება და პროდუქცია გავხადოთ კონკურენტუნარიანი.

სამუშაოს აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენდა და განხილული იქნა: საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე „ინოვაციური ტექნოლოგიები და თანამედროვე მასალები“ (ქუთაისი, 2012წ., 2013წ.),

პუბლიკაციები: სადისერტაციო სამუშაოს ძირითადი დებულებები და შედეგები გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომში.

სამუშაოს მოცულობა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ხუთი თავი და დასკვნა. შეიცავს რეზიუმეს, შინაარსს, 25 ნახაზს, 16 ცხრილს, 6 სურათს, ციტირებული ლიტერატურის ნუსხას 107 წყაროს დასახელებით. დისერტაცია წარმოდგენილია თაბახის 110 ფურცელზე.

თავი 1. წიდების აღდგენის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები

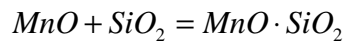
1.1. მანგანუმის და სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის რეაქციების თერმოდინამიკა

მანგანუმიანი ფეროშენადნობების წარმოების წიდები (ე.წ. გადასაყრელი წიდები), განეკუთვნებიან სილიკატურ ნაღობებს, რომელთა აგებულების და მასში მანგანუმის და სილიციუმის არსებობის ფორმების შესახებ, ლიტერატურაში არსებული მონაცემების ანალიზით, არაა ერთიანი აზრი.

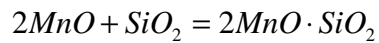
სილიკომანგანუმის წიდები ძირითადად წარმოდგენილია $MnO-CaO-SiO_2$ სამმაგი სისტემის სახით, რადგანაც ამ ოქსიდების ჯამი მასში 85-90%-ია. ფარდობა $CaO:SiO_2$ და $MnO:SiO_2$ ამ წიდებში ძალიან ფართო დიაპაზონში იცვლება.

ჩვენს მიერ ჩატარებული სილიკომანგანუმის წიდების აღდგენადობის თერმოდინამიკული გათვლები ჩატარებულია $MnO-SiO_2$ სისტემისათვის, სადაც გვაქვს ძირითადად ორი ნაერთი, როდონტი $MnO \cdot SiO_2$ და

ტეფროიტი - $2MnO \cdot SiO_2$, რომელთა თერმოდინამიკური პოტენციალის ცვალებადობას ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით აქვს შემდეგი სახე:



$$\Delta G_T^0 = -7531 - 4,09T \ln T + 3,14 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,29 \cdot 10^5 T^{-1} + 31,65T$$



$$\Delta G_T^0 = -13585 - 4,18T \ln T + 3,07 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,2 \cdot 10^5 T^{-1} + 35T.$$

გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ როდესაც $MnO : SiO_2 < 1$ თერმოდინამიკური ალბათობა $MnO \cdot SiO_2$ და $2MnO \cdot SiO_2$ წარმოქმნისა პრაქტიკულად თანაბარია.

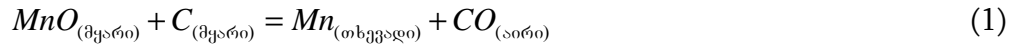
სილიკომანგანუმის რეალური წიდეები შეიძლება განვიხილოთ როგორც $CaO - MnO - SiO_2$ სამმაგი სისტემა, სადაც $CaO : SiO_2 \approx 1 : 3$ და $MnO : SiO_2 \approx 1 : 2$, საერთო ფარდობა $\Sigma(MnO + CaO) : SiO_2 \approx 5 : 6$ ასეთი წიდეები თერმოდინამიკური გათვლებით, კრისტალიზაციის დროს, უნდა შეიცავდეს თავისუფალ კაჟმიწას და მანგანუმის და კალციუმის მონოსილიკატებს. $CaO - MnO - SiO_2$ სამმაგ სისტემაში მოსალოდნელია ბუსტამიტის ტიპის $(Ca, Mn) \cdot SiO_2$ სილიკატების არსებობა. წიდეების მინერალოგიური შედგენილობის ცვალებადობა მიმდინარეობს თავისუფალი კაჟმიწის შემცირებისკენ, ანუ მისი აღდგენის მიმართულებით.

თავისუფალი კაჟმიწის აღდგენის შემდეგ SiO_2 -ის აღდგენა მიდის როდონიტიდან, რადგანაც $CaO - MnO - SiO_2$ სისტემაში როდონიტი თერმოდინამიკურად (ΔG_T^0 სიდიდის მიხედვით) ნაკლებ მდგრადია.

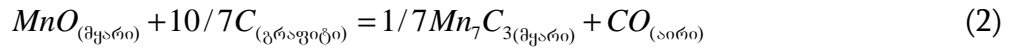
SiO_2 -ის აღდგენის პარალელურად უფრო დიდი სიჩქარით მიმდინარეობს MnO -ს აღდგენა, რაც განპირობებულია თავისუფალი SiO_2 -ის არსებობით.

$(Ca + Mn) : SiO_2 > 1$ ასეთი ნარეგების აღდგენის დროს დიდი გავლენა აქვს $MnO : SiO_2$ თანაფარდობას.

წილებიდან მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენა მყარი ნახშირბადით მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციებით:



$$\Delta G_{T(1)}^0 = 287500 - 169,9T \text{ კალ/მოლი}$$



$$\Delta G_{T(2)}^0 = 280700 - 181,5T \text{ კალ/მოლი}$$



$$\Delta G_{T(3)}^0 = 191000 - 123,5T \text{ კალ/მოლი}$$

ამ რეაქციების მიმდინარეობის საწყისი ტემპერატურებია შესაბამისად – 1420 °C (1); 1279 °C (2) და 1324 °C (3).

თუ გავითვალისწინებთ ნახშირბადის ხსნადობას მანგანუმში, ყველაზე დიდი ალბათობა MnO -ს აღდგენისა შეიძლება შემდეგი ფორმულით გამოისახოს:



$$\Delta G_{T(5)}^0 = 196293 - 123T \text{ კალ/მოლი}$$

$$P_{co} = -\frac{10265}{T} + 6,43$$

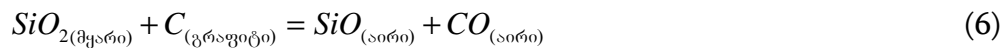
თეორიული ტემპერატურა ამ რეაქციის დაწყებისა, როდესაც $P_{co} = 1$ ატმ, $\Delta G_T^0 = 0$, შეადგენს 1324 °C .

სილიკომანგანუმის მიღების დროს მანგანუმის აღდგენის პარალელურად მიმდინარეობს სილიციუმის აღდგენა, რომელიც კაზმში შეაქვს კვარციტს, მანგანუმის კონცენტრატს და კოქსის ნაცარს. დადგენილია, რომ SiO_2 -ის Si -მდე აღდგენის პროცესში წარმოიქმნება შუალედური პროდუქტები-სილიციუმის კარბიდი SiC და სილიციუმის მონოოქსიდი - SiO შემდეგი რეაქციებით:

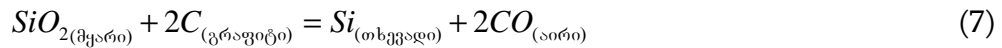


$$\Delta G_{T(5)}^0 = 134070 - 81,73 \text{ კალ/მოლი}$$

ამ რეაქციის დაწყების ტემპერატურაა – 1255⁰C.



$$\Delta G_{T(6)}^0 = 322400 - 158,06T \text{ კალ/მოლი}$$



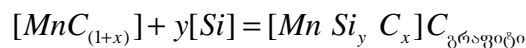
$$\Delta G_{T(7)}^0 = 170600 - 87,82 \text{ კალ/მოლი}$$

ამ რეაქციის დაწყების თეორიული ტემპერატურა შეადგენს 1670⁰C .

აღდგენილი სილიციუმი რეაგირებს ნახშირბადით გაჯერებულ მანგანუმთან შედეგი რეაქციით:



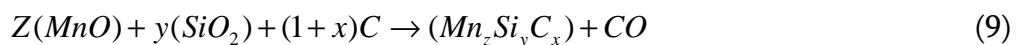
წარმოიქმნება სილიკომანგანუმი, რომელშიც ნახშირბადის შემცველობას განსაზღვრავს მასში სილიციუმის კონცენტრაცია. ამიტომ უფრო ზუსტი იქნება აღნიშნული რეაქცია ჩაიწეროს შემდეგნაირად:



ამ განტოლების ჩაწერის უფლებას გვაძლევს სილიკომანგანუმის სტრუქტურა, რომელიც ზემოთ იყო განხილული.

სილიკომანგანუმი შეიცავს დაახლოებით 5-10% რკინას, რომელიც კაზმში შეაქვს ძირითადად მანგანუმის მადანს, ან უმატებენ სპეციალურად რკინის ბურბუშელის სახით. თერმოდინამიკურად დადგენილია, რომ რკინა თითქმის მთლიანად აღდგება (≈ 95%) და გადადის ლითონში.

მანგანუმის და სილიციუმის წილებიდან აღდგენის პროცესის ჯამური რეაქცია შეიძლება შემდეგი სქემით გამოისახოს:



რადგანაც სილიკომანგანუმი არის ნახშირბადით გაჯერებული შენადნი, ამიტომ ამ რეაქციის წონასწორობის კონსტანტა შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:

$$K_{Mn-Si} = \frac{a_{Si} P_{CO}}{a_{MnO} \cdot a_{SiO_2}}$$

მანგანუმის და სილიციუმის ალდგენის თერმოდინამიკური შესაძლებლობა რიგ შემთხვევებში ძნელად მისაღწევი ხდება რეაქციის მიმდინარეობის კინეტიკური სიძნელეების გამო. ამიტომ ჩვენს მიერ შესწავლილი იქნა წილების ალდგენადობის კინეტიკა მასში ლითონური მდგენელის დამატების პირობებში.

1.2. წილებიდან მანგანუმის და სილიციუმის ალდგენის კინეტიკის გამოკვლევა, მასში ლითონური მდგენელის არსებობისას

სილიკომანგანუმის წილებიდან მანგანუმის და სილიციუმის ნახშირბადით ალდგენის კინეტიკის ექსპერიმენტული კვლევები ჩატარდა დანადგარზე, რომელიც უზრუნველყოფს მუდმივ, ავტომატურ სინქრონულ რეგისტრაციას, ნიმუშის წონის კარგვისა და გამოყოფილი აირის მოცულობისა, ატმოსფერული წნევის პირობებში.

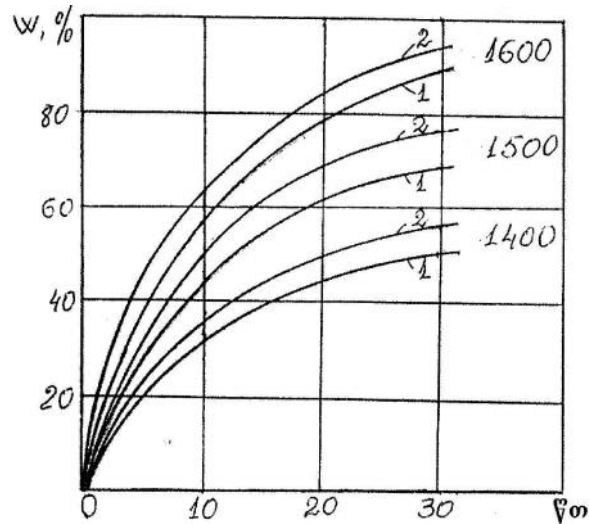
საკაზმე მასალებად გამოყენებული იყო შემდეგი: სილიკომანგანუმის წიდა ($Mn-16\%$; $SiO_2-48\%$; $CaO-21\%$; $Al_2O_2-5,6\%$; $FeO-1,3\%$; $MgO-2,5\%$; $P-0,02\%$), კოქსის ანაცერი ($C_{\text{მყარი}}-84\%$) და სილიკომანგანუმის ლითონური მტვერი ($Mn-75\%$; $Si-17\%$; $Fe-5\%$; $C-1,7\%$; $P-0,35\%$).

ექსპერიმენტები ჩატარდა 1400, 1500 და 1600 °C ტემპერატურებზე, 30 წუთიანი დაყოვნებით.

ცდების შედეგები მოცემულია 1 ნახაზზე.

ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევებიდან ნათლად ჩანს, რომ მანგანუმის და სილიციუმის ალდგენის ხარისხი აღმგენლებთან ერთად დაბრიკეტებული წილებიდან საკმაოდ მაღალია და იგი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ტემპერატურის გაზრდით ელემენტების ალდგენის ჯამური ხარისხი ყველგან იზრდება, მაგრამ ლითონური მდგენლის არსებობის პირობებში იგი ყოველთვის უფრო მაღალია ვიდრე ჩვეულებრივად წილების ალდგენის დროს, და აღწევს 80-90%. ეს აიხსნება

იმით, რომ ლითონური მდგენელი (სილიკომანგანუმის მტვერი) დადებითად მოქმედებს მანგანუმის აღდგენაზე. დაგროვილი ნახშირბადით გაჯერებული მაღალმანგანუმიანი ნადნობი თავისთავად ინტენსიფიკაციას უწევს და აჩქარებს სილიციუმის აღდგენას.



ნახ. 1. წილების აღდგენის ჯამური კინეტიკური მრუდები 1400, 1500 და 1600°C ტემპერატურაზე
 W – აღდგენის ხარისხი, %;
 1 – სილიკომანგანუმის წიდა + კოქსი
 2 – სილიკომანგანუმის წიდა + ლითონური მტვერი + კოქსი

ამრიგად, წილებიდან სილიკომანგანუმის დნობის დროს განმსაზღვრელ ფაქტიურად გვევლინება MnO და SiO_2 -დან მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის სიღრმე და ხარისხი. ელემენტების შენადნობში გადასვლის გაზრდას და ჟანგეულობის ღრმა და სრულ აღდგენას უზრუნველყოფს შემდეგი ფაქტორები:

- ჟანგეულების აღდგენის სიჩქარის გაზრდა;
- აღმდგენლის ჟანგეულებთან კონტაქტის ხანგრძლივობის გაზრდა;
- პროცესის მიმდინარეობის ტემპერატურის ამაღლება;
- კაზმში ლითონური მდგენელის არსებობა.

თავი 2. მანგანუმშემცველი ნარჩენების ფიზიკო-ქიმიური დახასიათება და მათი დაბრიკეტების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა

წვრილდისპერსიული მანგანუმის შემცველი ნარჩენების რაციონალური გამოყენების მიზნით, დანაჯროვნების მეთოდების შესარჩევად და დნობის პროცესში დასაბრუნებლად აუცილებელია შესწავლილ იქნას მათი ძირითადი ფიზიკო-ქიმიური და მეტალურგიული თვისებები.

გამოკვლევულ იქნა: ქიმიური და პეტროგრაფიული შედგენილობა, სიმკვრივე, ნაყარი წონები, დასველების უნარი, ხვედრითი ელექტროწინალობა, ფრაქციული შედგენილობა, ბუნებრივი დახრის კუთხე, ზედაპირის ხვედრითი ფართობი და სხვა. ზემოთაღნიშნული თვისებების გამოსაკვლევად გამოყენებულ იქნა ქიმიური, პეტროგრაფიული, თერმოგრაფიმეტრული და რენდგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდები.

მტვერის (შლამის), გრანულირებული წიდის ქიმიური ანალიზიდან ჩანს, რომ ისინი შეიცავენ შემდეგ ელემენტებს: Mn , Si , Al , Fe , Ca , P , C , რომლებიც ძირითადად წარმოდგენილია ელემენტარული ან ოქსიდური ფორმით.

მანგანუმშემცველი მტვერის (შლამის) თერმოგრაფიული გამოკვლევა ჩატარდა ფ. პაულიკი, ი. პაულიკი და ლ. ერდის „MOM“ უნგრული ფირმის „დერივატოგრაფზე“.

ფაზური ანალიზით დადგინდა, რომ მტვერში მანგანუმი წარმოდგენილია ძირითადად Mn_3O_4 და MnO ოქსიდების სახით. ამ მინერალების თანაარსებობა მანგანუმიან ნარჩენებში, ბუნებრივია, რადგანაც მანგანუმშემცველი ნედლეული საიდანაც ხდება აღნიშნული ნარჩენების წარმოქმნა, ფეროშენადნობთა ლუმელებში წინასწარ განიცდიან თერმულ დამუშავებას.

პეტროგრაფიული და რენდგენოსტრუქტურული ანალიზებით დადგენილ იქნა, რომ ფეროშენადნობების წარმოებისას წარმოქმნილი

მტვერი და შლამები ძირითადად შედგება წვრილდისპერსიული, ყავისფერი ნაწილაკებისაგან და წარმოდგენილია მანგანუმის ოქსიდების (ჰაუსმანიტი, ბრაუნიტი) და რკინის ოქსიდების (ჰემატიტი, იაკობსიტი) სახით. არამადნური მინერალების სახით შეიცავს კვარცს და გრაფიტს.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენები-მტვერი (შლამი) და წიდეები წარმოადგენენ რთული შედგენილობის თერმულად დამუშავებულ მანგანუმშემცველ ნედლეულს.

დანაჭროვნების მეთოდის შერჩევა პირველ რიგში განისაზღვრება საკაზმე მასალების თვისებებით და დნობის ტექნოლოგიური პროცესის მოთხოვნებით.

ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებისაგან ბრიკეტების მისაღები კაზმი შეიცავს მანგანუმშემცველ, ნახშირბადშემცველ კომპონენტებს და შემკვრელს, ამასთან, მანგანუმშემცველი კომპონენტის სახით იგი შეიცავს მანგანუმის კონცენტრატს, გრანულირებულ წიდას. მანგანუმშემცველ ლითონურ მტვერს და ასპირაციულ მტვერს ან შლამს. ნახშირბადშემცველი კომპონენტის სახით - კოქსის ანაცერს ან ტყიბულის ნახშირს ან კონცენტრატს. შემკვრელის სახით - ხსნად მინას ან ზადაგს ან მათ ნარევეს 1/1 თანაფარდობით, ან სულფიტ-სპირტოვან ზარდას (სსბ).

ამასთან, კაზმი შეიცავს კომპონენტებს შემდეგი თანაფარდობით, მას. %:

მანგანუმის შემცველი ასპირაციული მტვერი ან შლამი	10-30
გრანულირებული წიდა	10-30
მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერი	3-10
კოქსის ანაცერი ან ტყიბულის ნახშირი ან კონცენტრატი	12-40
შემკვრელი მასალა	6-10
მანგანუმის კონცენტრატი	დანარჩენი

დაბრიკეტების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენის მიზნით, ლაბორატორიულ პირობებში ხდებოდა ბრიკეტის მექანიკურ მახასიათებლებზე კაზმის სინესტის, შემკვრელის რაოდენობის,

წვრილდისპერსიული მდგენელის (შლამის, მტვრის) და დაწნეხის კუთრი წნევის გავლენის შესწავლა.

ლაბორატორიულ კვლევებში გამოყენებული იქნა სულფიტსპირტოვანი ბარდის 1240კგ/მ³ სიმკვრივის წყალხსნარი, ხსნადი მინა და ბადაგი.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ მექანიკურად მტკიცე ბრიკეტების (13-16 მპა სიმტკიცე კუმშვაზე) მიღების ოპტიმალურ პარამეტრებს წარმოადგენს: დასაბრიკეტებელი კაზმის სინესტე 6-8%; შემკვრელის რაოდენობა 6-8%; გამოშრობის ტემპერატურა 120–130° C, წვრილდისპერსულ მდგენელის (მტვრის) მაქსიმალური რაოდენობა 30% და დაწნეხის მინიმალური წნევა 19,6მპა.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ კომპლექსური ბრიკეტები თავისი ქიმიური, მინერალოგიური, ფრაქციული შედგენილობით, ელექტრული და ფიზიკო-მექანიკური მახასიათებლებით წარმოადგენენ სავსებით გამოსაყენებელ და ეკონომიკურად მომგებიან საკაზმე მასალას სილიკომანგანუმის ელექტროთერმული წარმოებისათვის.

დაბრიკეტების შემუშავებული ოპტიმალური პარამეტრების გათვალისწინებით ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში ჩატარებულ იქნა კომპლექსური ბრიკეტების მიღების ნახევრადსამრეწველო და სამრეწველო გამოცდა. ნახევრადსამრეწველო კომპლექსური ბრიკეტების მიღება განხორციელდა მდგენელი კომპონენტების და შემკვრელის სხვადასხვა თანაფარდობით:

- მანგანუმშემცველი მტვერი 10-35%;
- გრანულირებული წიდა 10-32%;
- მანგანუმშემცველი ლითონური მტვერი 5-15%;
- კოქსის ანაცერი 10-45%
- მანგანუმის კონცენტრატი დანარჩენი
- შემკვრელი (თხევადი მინა, ბიტუმის „მასტიკა“

შაქრის წარმოების ნარჩენი „ბადაგი“

ან მათი ნარევი)

5-10%

კომპლექსური ბრიკეტების მიღების ნახევრადსამრეწველო გამოცდამ საშუალება მოგვცა აღნიშნული ტექნოლოგია გამოგვეცადა სამრეწველო მასშტაბით.

ბრიკეტების მისაღები საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა მოცემულია 1 ცხრილში.

ცხრილი 1. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა

№	მასალა	კომპონენტების შემცველობა, %								
		Mn	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mg O	P	C	H ₂ O
1.	მანგანუმშემცველი მტვერი	25-30	17-36	3-8	2-4	2-6	1-3	0,1-0,3	2-4	1-2
2.	გრანულირებული წიდა	15-20	40-46	18-20	-	6-8	3-4	0,015	-	10-12
3.	სილიკომანგანუმის ლითონური მტვერი	73-75	$\frac{Si}{14-19}$	-	$\frac{Fe}{4-6}$	-	-	0,3-0,4	1,5-2,2	-
4.	კოქსის ანაცერი	-	-	-	-	-	-	-	83-85	10-12

ჩატარებულმა ნახევრადსამრეწველო და სამრეწველო კვლევებმა გვიჩვენა მანგანუმშემცველი ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებისაგან მექანიკურად მტკიცე და თერმულად მდგრადი ბრიკეტების მიღების შესაძლებლობა, რაც საშუალებას იძლევა დავზოგოთ ძვირადღირებული მანგანუმის მადნები, შევამციროთ ნატეხოვანი კოქსის ხარჯი, გავზარდოთ წარმოების ეფექტურობა და უზრუნველვყოთ ეკოლოგიურად საშიში ნარჩენების უტილიზაცია.

თავი 3. ლაბორატორიული, ნახევრადსამრეწველო და სამრეწველო დნობების ჩატარება სილიკომანგანუმის მისაღებად

ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენების თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე შემუშავებული იქნა სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია კაზმში კომპლექსური ბრიკეტების გამოყენებით.

ჩატარებულ იქნა ლაბორატორიული და ნახევრადსამრეწველო დნობები.

ბრიკეტების მისაღები საკაზმე მასალების (წარმოების ნარჩენების) ქიმიური შედგენილობა მოცემულია მე-2 ცხრილში, ხოლო კომპლექსური ბრიკეტების შედგენილობა მოცემულია მე-3 ცხრილში.

კოქსის ანაცერის ტექნიკური ანალიზი, %: ნაცარი - 12,5; აქროლადები - 2,1; სინესტე - 16,0; გოგირდი - 2,83; $C_{\text{მყარი}}$ - 85.

ტყიბულის ნახშირის ტექნიკური ანალიზი, %: ნაცარი - 13,8; აქროლადები - 37,3; სინესტე - 15,0; გოგირდი - 1,5; $C_{\text{მყარი}}$ - 46,0.

ლაბორატორიული დნობები კომპლექსური ბრიკეტების გამოყენებით ჩატარებულ იქნა მაღალტემპერატურული ელექტროწინალობის ე.წ. „ტამანის“ 40 კვა სიმძლავრის ლუმელში.

ნახევრადსამრეწველო დნობები ჩატარებულ იქნა სამფაზა რკალურ ელექტროლუმელში, რომელიც იკვებებოდა 100 კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორიდან, რომლის ელექტრული და გეომეტრიული მახასიათებლები შემდეგია:

- ძაბვა ტრანსფორმატორის მაღალ მხარეზე - 220 ვოლტი;
- ძაბვა ტრანსფორმატორის დაბალ მხარეზე გვაქვს შვიდ საფეხურიანი - 25,9 - 73,3 ვოლტის ფარგლებში;
- გრაფიტირებული ელექტროდი დიამეტრით 75 მმ;

ჩატარებული დნობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მიღებული ლითონების ქიმიური შედგენილობა მანგანუმით და სილიციუმით

პრაქტიკულად ერთნაირია, ხოლო ფოსფორის შემცველობა დნობის ყველა ვარიანტში 0,25-0,28%-ის ფარგლებშია, რაც ქარხნის ტექნოლოგიით მიღებულ ლითონთან შედარებით 0,1 - 0,15%-ით დაბალია. რაც შეეხება

ცხრილი 2. საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა

მასალის დასახელება	კომპონენტის შემცველობა, %							
	Mn	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	P	C
მანგანუმიანი მტვერი	27,3	26,5	5,2	4,6	1,2	2,6	0,15	3,5
გრანულირებული წიდა	16,8	46,2	20,1	4,7	1,3	0,8	0,02	-
ლითონური მტვერი	72,0	$\frac{Si}{17,1}$	-	-	-	$\frac{Fe}{5,0}$	0,34	1,8
მანგანუმის კონცენტრატი	35,0	21,8	6,4	4,6	1,0	2,9	0,18	-
კოქსის ნაცარი	-	37,6	4,5	17,2	1,7	28,1	0,11	-

ცხრილი 3. ბრიკეტების შედგენილობა, %

კომპონენტი	ვარიანტი		
	I	II	III
მანგანუმიანი მტვერი	30	20	10
გრანულირებული წიდა	10	20	30
ლითონური მტვერი	3	7	10
მანგანუმის კონცენტრატი	10	18	22
კოქსის ანაცერი ან ტყიბულის ნახშირი	40	25	20
შემკვრელი	7	10	8

მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენებას იგი 4 - 5%-ით მაღალია, შესაბამისად არსებულ ტექნოლოგიასთან შედარებით. რაც გამოწვეულია იმით, რომ ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებული საკაზმე მასალები (კომპლექსური ბრიკეტები) თავის შედგენილობაში მჭიდრო

კავშირში შეიცავს ნახშირბადშემცველ აღმდგენელს და ლითონურ მტვერს, რაც თავისთავად ხელს უწყობს და ინტენსიფიცირებას ახდენს აღნიშნული ელემენტების აღდგენის ხარისხზე.

ცხრილი 4. სოლიკომანგანუმის დნობის მაჩვენებლები 5 მგა სიმპლავრის ელექტროლუმელში

მაჩვენებლები	განზომილება	დნობის ვარიანტი			
		1	2	3	4
ლუმელის მუშაობის მინიმალური დრო	სთ	52	48	60	64
კაზმში ფარდობა C/Mn		0,40	0,44	0,48	0,52
სილიკომანგანუმის შედგენილობა	%	70,12	71,43	70,81	71,10
Mn		17,86	17,78	17,56	18,48
Si		0,26	0,28	0,24	0,25
P	%	10,51	8,78	7,42	5,78
მანგანუმის შემცველობა წიდაში		1,18	1,25	1,28	1,30
წიდის ჯერადობა		0,4	0,6	0,8	1,0
წიდის ფუძიანობა CaO+MgO/SiO ₂		2550	2600	2610	2670
ლუმელის სიმპლავრე	კვტ	9,5	10,2	10,0	10,6
ლუმელის წარმადობა	ბაზ.ტ.				
ხარჯები 1 ბაზურ ტონა ლითონზე:	დღე-ღამეში				
– ელექტროენერგია	კვტ.სთ	4100	4150	4090	4050
– მანგანუმის მადანი	კგ	3000	2915	2870	2805
– კვარციტი	„	240	233	245	230
– დოლომიტი	„	70	110	138	170
– კოქსწვრილა	„	514	500	400	350
– ტყიბულის ნახშირი	„	–	–	200	280
მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში	%	76,0	78,0	80,11	82,50
მანგანუმის გადასვლა წიდაში		14,62	12,40	11,71	10,31

ამრიგად, ჩატარებული ლაბორატორიული და ნახევრადსამრეწველო კვლევების საფუძველზე შემუშავდა ფეროშენადნობთა მანგანუმშემცველი ნარჩენების გამოყენების ყველაზე რაციონალური და პერსპექტიული

ტექნოლოგიური სქემა, რაც საშუალებას გვაძლევს დავზოგოთ ძვირადღირებული საკაზმე მასალები (მანგანუმის კონცენტრატი, კოქსწვრილა, კვარციტი), შევამციროთ ელ. ენერჯის ხარჯი და მის საფუძველზე შევამციროთ პროდუქციის თვითღირებულება.

ჩატარებულ იქნა სილიკომანგანუმის მიღების სამრეწველო დნობები 5 მვა სიმძლავრის ელექტროლუმელში.

საცდელი დნობების ჩატარების მეთოდიკა მდგომარეობდა იმაში, რომ კაზმის მადნული ნაწილი იყო მუდმივი, იცვლებოდა მხოლოდ ნახშირბადიანი აღმდგენელის სახეობა, რაოდენობა და კაზმის ფუძიანობა.

სამრეწველო დნობების შედეგები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

მიღებული მაჩვენებლებიდან ჩანს, რომ მძლავრ ელექტროლუმელში სილიკომანგანუმის დნობის პარამეტრების გაზრდის მნიშვნელოვან რეზერვს წარმოადგენს გამოსადნობ კაზმში ნახშირბადის ხვედრითი წილის გაზრდა, რაც შესაძლებელია მიღწეული იყოს კოქსის გარკვეული რაოდენობის (30-35%) შეცვლით ადგილობრივი, ტყიბულის ნახშირით და იმავდროულად წიდის ფუძიანობის გაზრდით. ლუმელის აბაზანის ელექტროწინალობის გაზრდა აღმდგენელის საკმაოდ მაღალი რაოდენობის პირობებში საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ მუშა ძაბვა ელექტროდებზე და შესაბამისად ლუმელის სიმძლავრე, რაც საბოლოო ჯამში ლუმელის მუშაობის მაღალი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების მიღწევის საწინდარია.

3.1. დაბალფოსფორიანი წიდის გამოდნობა საშუალო სიმძლავრის ელექტროლუმელში მანგანუმშემცველი ნარჩენების გამოყენებით

როგორც ცნობილია, ქ. რუსთავში, ახლო წარსულში წლების განმავლობაში აწარმოებდნენ ელექტროლიტური მანგანუმის ორჟანგს. მისი წარმოება ემყარებოდა მაღალხარისხიანი მანგანუმის კონცენტრატების გამოყენებას, რის შედეგადაც დაუხვეწავი ტექნოლოგიებისა და მდარე

ტექნიკური აღჭურვილობის პირობებში წარმოიქმნებოდა დიდი რაოდენობის მანგანუმშემცველი ნარჩენები ლამების სახით. ასეთ ნარჩენებში მანგანუმის შემცველობა მერყეობს 24-32%-ის, რკინის 1,7-2,2%-ის და ფოსფორის - 0,26-0,32%-ის ფარგლებში, ხოლო მისი სინესტე კი - 25-30%-ია. ეს ნარჩენები, რომლის რაოდენობაც რამდენიმე ასეულ ათას ტ ალმატება, წლების განმავლობაში გროვდებოდა ქალაქის სიახლოვეს ლამსაცავებში და იგი ამჟამად დიდ ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს.

აღნიშნული ნარჩენების ფიზიკო-ქიმიური, გრანულომეტრიული (მისი წვრილდისპერსიულობა) და მეტალურგიული მახასიათებლების გათვალისწინებით, შემოთავაზებულია მისი გადამუშავების ახალი, ეფექტური ტექნოლოგიური სქემა. იგი ითვალისწინებს ლამების წინასწარ დანაჭროვნებას-დაგუნდავებას და მიღებული გუნდებიდან დაბალფოსფორიანი, დაბალრკინაშემცველი მანგანუმით მდიდარი წიდების გამოდნობას.

ექსპერიმენტული სამრეწველო დნობები დაბალფოსფორიანი, მდიდარი წიდის მისაღებად ჩატარდა 5მვა სიმძლავრის მადანალმდგენელ, რკალურ ელექტროლუმელში უწყვეტი პროცესით. გამოყენებული საკაზმე მასალების შედგენილობა იყო შემდეგი:

მანგანუმთან ლამის გუნდა – 28,0%Mn; 22% SiO₂ ; 1,7% Fe ; 0,26%%P; 25%H₂O .

სილიკომანგანუმის წიდა – 14%Mn; 48% SiO₂ ; 0,017%P .

რკინის ხენჯი – 70%Fe ; 0,05%P .

კოქსისა და ტყიბულის ნახშირის ტექნიკური ანალიზი:

კოქსი: სინესტე – 15%; ნაცარი – 12%; აქროლადი – 1,81% გოგირდი – 2,3%.

ნახშირი: სინესტე – 14%; ნაცარი – 30%; აქროლადი – 34%; გოგირდი – 1,2%.

ცხრილი 5. დაბალფოსფორიანი წილის დნობის ძირითადი მაჩვენებლები

დნობის საშუალო ხანგრძლივობა, სთ	2,5		
ხვედრითი წარმადობა, ტ(ფიზ.)/სთ	0,7		
ლუმელს მიეწოდა, კგ: მანგანუმის ლამის გუნდა (სველი) სილიკომანგანუმის წიდა რკინის ხენჯი კოქსწვრილა ტყიბულის ნახშირი	87000 7000 500 3500 1020		
კაზმის მადნური ნაწილი შეიცავს, % მანგანუმი კაჟმიწა	26,64 24,51		
მიღებულია, კგ: წიდა (ფიზ.) ლითონი (ფიზ.)	58000 3000		
საკაზმე მასალების ხვედრითი ხარჯი 1ტ (ფიზ.) წილის მისაღებად, კგ/ტ: მანგანუმის ლამის გუნდა სილიკომანგანუმის წიდა რკინის ხენჯი კოქსწვრილა ტყიბულის ნახშირი	1500 120 8,62 60,35 17,60		
ელექტროენერგიის ხვედრითი ხარჯი კვტ.სთ/ტ	1021		
ლუმელის სიმძლავრე, მვტ.	2,5		
სიმძლავრის კოეფიციენტი, cos ϕ	0,72		
წილის ქიმიური შედგენილობა, %			
<i>Mn</i>	29,87		
<i>SiO₂</i>	29,40		
<i>Fe</i>	0,25		
<i>P</i>	0,030		
თანმდევი ლითონის ქიმიური შედგენილობა, %			
<i>Mn</i>	44,92		
<i>Fe</i>	43,78		
<i>P</i>	3,99		
<i>C</i>	6,3		
<i>Si</i>	1,0		
ძირითადი ელემენტების განაწილება			
ელემენტი	გადადის, %		აორთქლდება, %
	წიდაში	თანმდევი ლითონში	
<i>Mn</i>	90,0	7,0	3,0
<i>Si</i>	95,0	0,36	4,64
<i>P</i>	10,0	70,0	20,0
<i>Fe</i>	10,0	90,0	–

დნობის კამპანიის ბოლოს კოქსი შეცვლილი იყო ტყიბულის ნახშირით. ლუმელი მუშაობდა საშუალო სიმძლავრეზე, ელექტროდების დაბალი, ღრმა მდებარეობით, ტრანსფორმატორის 4-6 საფეხურზე 105-115 ვოლტ ძაბვაზე.

დენური დატვირთვები ელექტროდებზე იყო 14-17 კილოამპერის ფარგლებში. კაზმის მსუბუქი ამოფრქვევები და ჩავარდნები მოხდა მხოლოდ 2-ჯერ, რაც გამოწვეული იყო გუნდების მომეტებული სინესტით. აგრეთვე, აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ კაზმს არ დასჭირდა ფლუსის სახით მიგვეწოდებინა კვარციტი, რომლის კომპენსაციასაც წარმატებით ასრულებდა მცირე რაოდენობის (120კგ 1ტ პროდუქციაზე) საკუთარი წარმოების სილიკომანგანუმის წიდა. დაბალფოსფორიანი წიდა ღუმელის ხვრელიდან გამოდიოდა საკმაოდ გადახურებული და თხევადდენადი, რომელშიდაც ლითონური ჩანართები იყო მინიმალური. „თანმდევი ლითონი“ იყო მცირე რაოდენობით (50კგ/ტ წიდაზე) და მისი გამოსვლა ღუმელიდან ხდებოდა ცვლაში 2-3-ჯერ. დნობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები და ძირითადი ელემენტების განაწილება მოცემულია მე-5 ცხრილში.

ჩატარებული დნობის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ექსპერიმენტული დნობები ჩატარდა აღმდგენლის საჭირო რაოდენობის ქვედა ზღვარზე, რასაც მოწმობს „თანმდევი ლითონის“ მცირე რაოდენობა და წიდაში ფოსფორის აბსოლუტური რაოდენობის გაზრდილი მაჩვენებელი (0,030) (განფოსფორების ფარდობითი მაჩვენებელი კი - საკმაოდ მაღალია - 90%).

ამრიგად, საცდელმა დნობებმა გვიჩვენა, რომ ელექტროლიტური მანგანუმის ორჟანგის მიღების შედეგად დარჩენილი ლამებისგან, რომელიც შეიცავს ფოსფორის გაზრდილ რაოდენობას, შესაძლებელია მივიღოთ კონდიციური დაბალფოსფორიანი, წიდა ($Mn-30\%$, $Fe-25\%$, $P-0,030\%$), რომელიც შესაძლებელია წარმატებით გამოვიყენოთ დაბალფოსფორიანი, მანგანუმიანი შენადნობების მისაღებად.

დასკვნა

1. ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შემუშავებულია და ათვისებულ იქნა ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებისაგან მიღებული

კომპლექსური ბრიკეტების (ლითონური მტვერი+წიდა+კოქსი+მტვერი) მიღების რესურსდამზოგი ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს წარმოების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაზრდას, ხელს უწყობს ძვირადღირებული ნარჩენების უტილიზაციის პრობლემის გადაწყვეტას და თავიდან გვაცილებს გარემოს დაბიძურების საფრთხეს.

2. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ფეროშენადნობთა წარმოების აირგამწმენდ სისტემებში დაჭერილი მტვერი ძირითადად წარმოადგენს რთული შედგენილობის თერმულად დამუშავებულ მანგანუმის შემცველ ნედლეულს, რომელიც აგრეთვე შეიცავს ისეთ სასარგებლო კომპონენტებს როგორცაა მანგანუმი (25-35%), რკინა (3,0-5,0%), კალციუმის ოქსიდი (3,0-8,0%, მანგანუმის ოქსიდი (1,0-3,0%), ალუმინის ოქსიდი (3,0-5,0%) და ნახშირბადი (4-8%).

3. ნარჩენების (გრანულირებული წიდა, მანგანუმიანი მტვერი, კოქსის ანაცერი, ლითონური მტვერი) მეტალურგიული თვისებების, მათი ფიზიკო-ქიმიური და გრანულომეტრული შედგენილობის გათვალისწინებით შემოთავაზებულია მათი ერთმანეთში არევა გარკვეული თანაფარდობით, შემკვრელის დამატება და მათი ერთობლივი დაბრიკეტება.

4. შემუშავებულია მექანიკურად მტკიცე ($P_{გაჭყლეტა}=8\div 10\text{მპა}$) ბრიკეტების მიღების რაციონალური პარამეტრები. დადგენილია, რომ ბრიკეტირების ოპტიმალური პარამეტრებია: დასაბრიკეტებელი კაზმის სინესტე - 6-8%, შემკვრელის რაოდენობა 6-8%, გამოშრობის ტემპერატურა $120-130^{\circ}\text{C}$, წვრილდისპერსიული მდგენელის (მტვრის) მაქსიმალური რაოდენობა 30% და დაწნევის მინიმალური წნევა 19,6მპა.

5. დადგენილია, რომ კომპლექსურ ბრიკეტებს აქვთ უფრო მაღალი ელექტროწინაღობა, ვიდრე აგლომერატს, რაც გამოწვეულია ბრიკეტების შემცველ ნაწილაკებს შორის კონტაქტური წინაღობის გაზრდით. ნახშირბადის არსებობა ბრიკეტებში ზრდის გარბილების საწყის ტემპერატურას და ამცირებს გარბილების ტემპერატურულ ინტერვალს.

6. სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში ბრიკეტების გამოყენება, არსებულ ტექნოლოგიასთან შედარებით, 4–5%–ით ზრდის მანგანუმის და სილიციუმის სასარგებლო გამოყენებას, რაც აიხსნება იმით, რომ ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებული საკაზმე მასალები (კომპლექსური ბრიკეტები) თავის შედგენილობაში მჭიდრო კავშირში შეიცავს ნახშირბადმემცველ ალდმდგენელს და ლითონურ მტვერს, რაც თავისთავად ხელს უწყობს და ინტენსიფიკაციას ახდენს აღნიშნული ელემენტების აღდგენის ხარისხზე.

7. ჩატარდა შემუშავებული ტექნოლოგიის სამრეწველო გამოცდა, რომელმაც მოგვცა დადებითი შედეგი. აღნიშნული ტექნოლოგიის კომერციალიზაცია არ მოითხოვს დამატებით კაპიტალდაბანდებებს და მისი დანერგვის შედეგად, როგორც ჩატარებულმა გამოთვლებმა გვიჩვენა, შესაძლებელია მივიღოთ მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი (13400000 აშშ დოლარი) და თავიდან ავიცილოთ გარემოს დაბინძურების საშიშროება.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. სიმონგულაშვილი ზ., ცირდავა მ., მაისურაძე ი. და სხვ. დაბალფოსფორიანი წიდის გამოდნობა საშუალო სიმძლავრის მადანალმდგენელ ელექტროლუმელში მანგანუმმემცველი ნარჩენების გამოყენებით. სამეცნიერო–ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 2011, №4(60), გვ. 93–96.
2. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., ნებიერიძე ს., მაისურაძე ბ. ნახშირბადმემცველი ნარჩენების და წიდის ფუძიანობის გავლენა სილიკომანგანუმის გამოსადნობი კაზმის ელექტროწინალობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო–პრაქტიკული კონფერენციის შრომები. ქუთაისი, 2012, გვ. 74–78.
3. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., მაისურაძე ბ. სილიკომანგანუმის მიღების ტექნიკო–ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესება კაზმში მანგანუმმემცველი ნარჩენების გამოყენებით. საერთაშორისო

სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის შრომები. ქუთაისი, 2013, გვ. 220-223.

4. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., მაისურაძე ბ.. ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებიდან კომპლექსური ბრიკეტების მიღების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 2013, №3(67), გვ. 47-51.
5. სიმონგულაშვილი ზ., მაისურაძე ი., მაისურაძე ბ. ფეროშენადნობთა წარმოების მანგანუმშემცველი ნარჩენების ფიზიკო-ქიმიური და მეტალურგიული თვისებების შესწავლა. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2013, №2, ტ. 13, გვ. 78-81.

Abstract

The present theses is dedicated to one of the main problems of manganese ferroalloy electrothermics – usage of processing waste and correspondingly extension of raw base that is especially actual and important in conditions of deficit of manganese concentrate and permanent increase of its cost.

The mechanism of distribution of main elements while melting of silica manganese and in high carbon ferromanganese in industrial furnaces displays that the main part of manganese losses falls upon shares (10-16%), where it is imaginable either in oxide form or as metal inclusions. Furthermore the significant loss of manganese (8-10%) is present in conditioning systems as accumulated aspiration dust and mud. All these waste are stored in the scrap piles of the plant or on the adjacent territory. It occupies important territories with fruitful areas of agricultural designation and deteriorates ecological situation in the region.

The survey conducted in this way are devoted to the usage of the dust (mud) in which are involved manganese frequently in quantity of 25-35%. Yearly accumulation reaches the huge amount – 20-25 thousand ton and so far without usage. Constraints of its return to the industrial production lies in its fineness. Attempts to use it in agglomeration equipment had no results, that is why elaboration of its partition optimal methods represent significant problem.

- The mechanism of ferroalloy production waste formation and opportunities of its usage;
- Current state of manganese ferroalloy production and research of rational technological schemes;
- Statement wholesome usage of manganese and qualitative and quantitative structure;
- Research of chemical and metallurgical properties of respiration dust (mud);
- Definition of optimal parameters on receipt of dust-ore briquettes and research of metallurgical properties of briquettes;
- With usage of dust-ore briquettes melting of silica manganese in lab conditions.

Owing to conducted studies has been elaborated the most acceptable and rational method of fine dispersed production and worked out silica manganese melting technology through usage of above materials.