

ზუკაბ სიმონბეულაშვილი



ფაროგენადობთა

ელექტროტერმია

“ტექნიკური უნივერსიტეტი”

ზ. სიმონგულაშვილი

ფეროშენადნობთა ელექტროთერმია

ფეროშენადნობთა მიღების თეორია
და ტექნოლოგია



დამტკიცებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი
2009

ქართული ტექნიკური უნივერსიტეტი
საბჭოს მიერ

წიგნში ახალი სასწავლო გეგმის შესაბამისად გადმოცემულია ელექტროთერმული პროცესებით ფეროშენადნობთა მიღების თეორიული და პრაქტიკული საფუძვლები. განხილულია ელემენტების და მისი ნაერთების თვისებები, ლითონური და ოქსიდური სისტემების მდგომარეობის დიაგრამები, ოქსიდების აღდგენის რეაქციების თერმოდინამიკა და კინეტიკა. მოყვანილია ფეროშენადნობთა მიღების თანამედროვე პროცესების კლასიფიკაცია და მათი სტანდარტიზაციის პრინციპები. აღწერილია ფეროსილიციუმის, მაღალნახშირბადიანი, საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის, სილიკომანგანუმის, ლითონური მანგანუმის და დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი მანგანუმისა და წიგნის მიღების ტექნოლოგია მძლავრ მაღანადმდგენელ ღუმელებში.

მოცემულია მანგანუმშემცველი ნედლი მასალების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმები, შენადნობების მიღების ტექნიკოეკონომიკური მახასიათებლები და მათი გაუმჯობესების პერსპექტივები.

განკუთვნილია უმაღლესი-ტექნიკური სასწავლებლების „შავი ლითონების მეტალურგიის“ სპეციალობის სტუდენტებისათვის. მისი მიზანია დაეხმაროს მათ ელექტროღუმელებში ფეროშენადნობთა მიღების მრავალფეროვანი ტექნოლოგიების ათვისებაში, მომავალი პრაქტიკული და საინჟინრო საქმიანობისთვის მომზადებაში. იგი შეიძლება გამოადგეთ მაგისტრანტებს, დოქტორანტებს და ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებს.

რეცენზენტი პროფ. ბ. მაისურაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-563-6

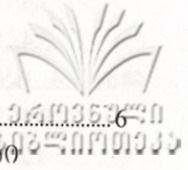
<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

ს ა ძ ა რ თ ვ ე ლ ო ს
პ ა რ ლ ა მ ე ნ ტ ი ს
ე რ ო ვ ე უ ლ ი
ბ ი ბ ლ ი ო თ ე კ ა



შესავალი 6

თავი 1. შეროშენადნობთა მიღების ფიზიკო-ქიმიური
საფუძვლები..... 15

- 1.1. მაღანადგმენელ ღუმელებში შეროშენადნობთა
მიღების საფუძვლები 15
- 1.2. ღუმელის აბაზანის აბეზულება და მასში დენების
ბანაწილება 17
- 1.3. კაზმის სვლა ღუმელში და დნობის პროდუქტების
ტემპერატურა.....27
- 1.4. საკაზმე მასალების მომზადება დნობისათვის..... 31
- 1.5. აგლომერაცია..... 31
- 1.6. დაბუნდავება 36
- 1.7. დაბრიკეტება.....37

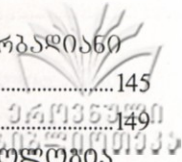
თავი 2. შეროშენადნობთა წარმოებაში გამოყენებული
აღმდგენლების დანახიათება.....39

- 2.1. ნახშირბადით აღდგენა (ნახშირბადაღმდგენითი
პროცესები)39
- 2.2. ნახშირბადის, როგორც აღმდგენელის თავისებუ-
რებანი.....4
- 2.3. ოქსიდების სილიციუმით აღდგენა (სილიკოთერ-
მული პროცესები).....46
- 2.4. სილიციუმის, როგორც აღმდგენელის თავისებუ-
რებანი.....48
- 2.5. ოქსიდების ალუმინით აღდგენა (ალუმოთერმული
პროცესები)49
- 2.6. ალუმინის, როგორც აღმდგენლის
თავისებურებანი.....5

თავი 3. კრისტალური სილიციუმის და შეროსილიციუმის
მიღება52

- 3.1. სილიციუმის და მისი ნაერთების ფიზიკო-ქიმიური
თვისებები.....54
- 3.2. კრისტალური სილიციუმის გამოდნობა56

3.3.	ფეროსილიციუმის ელექტროთერმია.....	6
3.4.	ფეროსილიციუმის მიღების ტექნოლოგია.....	65
თავი 4.	მანბანში და მისი შენადნობები.....	82
4.1.	მანბანში ფიზიკო-ქიმიური თვისებები.....	82
4.2.	მანბანის და მისი შენადნობის ბამოყენების არეალი	84
4.3.	მანბანის მადნების და კონცენტრატების დახ- სიათება	86
4.4.	მანბანის კონცენტრატების დეფოსფორაცია.....	9
4.5.	დეფოსფორაციის მეტალურგიული მეთოდი.....	93
თავი 5.	ნახშირბადიანი ფერომაგნანუმის მიღება.....	97
5.1.	მაღალნახშირბადიანი ფერომაგნანუმის ელექტროლუმელებში მიღების ტექნოლოგია.....	99
5.2.	დნობა უფლუსო მეთოდით	1 7
5.3.	დნობა ფლუსიანი მეთოდით.....	112
5.4.	ნახშირბადიანი ფერომაგნანუმის ბამოდნობის პროცესში შემჩნეული დამახასიათებელი დარღვევები და მისი აღმოფხვრის ღონისძიებები.....	116
5.5.	ნახშირბადიანი ფერომაგნანუმის ბამოსადნობი კაზმის ანბარიში.....	117
თავი 6.	სილიკომაგნანუმის ელექტროთერმია.....	12
6.1.	სილიკომაგნანუმის მიღების ფიზიკო-ქიმიური საუპკვლები	122
6.2.	სილიკომაგნანუმის ბამოდნობის ტექნოლოგია.....	132
6.3.	სილიკომაგნანუმის დნობის ტექნიკო- ეკონომიკური მაჩვენებლები.....	139
6.4.	სილიკომაგნანუმის ბამოდნობის პროცესში შემ- ჩნეული დამახასიათებელი დარღვევები და მისი აღმოფხვრის ღონისძიებები	142
6.5.	სილიკომაგნანუმის ბამოსადნობი კაზმის ანბარიში	143



თავი 7. საშუალონახშირბადიანი და დაბალნახშირბადიანი
ფერომაგნანუმის მიღება145

7.1. ლითონური მანგანუმის მიღება149

7.2. ლითონური მანგანუმის მიღების ტექნოლოგია
ელექტრო-სილიკოთერმული მეთოდით.....15

7.3. უფოსფორო, გადასამუშავებელი მანგანუმიანი
წილის გამოდნობა152

7.4. გადასამუშავებელი სილიკომაგნანუმის გამოდ-
ნობა157

7.5. ლითონური მანგანუმის გამოდნობა166

7.6. საშუალონახშირბადიანი (რაფინირებული)
ფერომაგნანუმის გამოსადნობი კაზმის
ანგარიში17

გამოყენებული ლიტერატურა172



ფეროშენადნობები ეწოდებათ რკინის შენადნობებს სხვა ელემენტებთან: სილიციუმთან, მანგანუმთან, ქრომთან, ვოლფრამთან და სხვა. ორმაგ შენადნობებს ეწოდებათ: ფეროსილიციუმი, ფერომანგანუმი, ფეროქრომი, ფეროვოლფრამი და ა.შ. სამმაგი შენადნობებია, მაგალითად, რკინის შენადნი სილიციუმთან და მანგანუმთან; რკინის შენადნი სილიციუმთან და ქრომთან, რომელთაც შესაბამისად ეწოდებათ, ფეროსილიკომანგანუმი (ან სილიკომანგანუმი), ფეროსილიკოქრომი (ან სილიკოქრომი) და ა.შ. შემოკლებულად შენადნობები შეიძლება აღინიშნოს შემდეგნაირად: ფეროსილიციუმი - FeSi, ფეროქრომი - FeCr ფეროსილიკომანგანუმი - FeSiMn (ან SiMn) და ა.შ.

ფეროშენადნობებს განეკუთვნებიან აგრეთვე დბალ-რკინისშემცველი შენადნობები, მაგალითად, კრისტალური სილიციუმი, რომელშიდაც რკინის შემცველობა არ აღემატება 1,5%, ლითონური მანგანუმი (რკინის შემცველობა არა უმეტეს 3%), ლითონური ქრომი, სილიკოკალციუმი, სილიკოალუმინი და სხვა.

ფეროშენადნობების ძირითადი კომპონენტებია: სილიციუმი, მანგანუმი, ქრომი, რომლებთაც ეწოდებათ წამყვანი ელემენტები, რადგანაც მათი შემცველობა შენადნში რკინასთან ერთად განსაზღვრავს შენადნის დანიშნულებას და ხარისხს, მიღების სირთულეს, ელექტროენერჯის და ნედლეული მასალების ხარჯს 1 ტ შენადნზე და ა.შ.

იმისათვის, რომ სწორად იქნას შეფასებული და შედარებული მოცემული შენადნობის მიღების ტექნიკო-ეკონო-

მიკური მაჩვენებლები, რომელშიდაც შესაძლებელია წამყვანი ელემენტის რაოდენობა იყოს სხვადასხვა, შემოღებულია ე.წ. ბაზური ტონის ცნება. მაგალითად, ფეროსილიციუმის ღნობისას, რომელშიდაც სტანდარტის შესაბამისად უნდა იყოს 45% სილიციუმი, დასაშვებია მისი შემცველობის დიაპაზონი იყოს 41-დან 47%-მდე. ამ შენადნისათვის ბაზურ ტონად მიღებულია ერთი ტონა 45% სილიციუმით. სილიკომანგანუმისათვის ბაზურ ტონად მიღებულია ტონა, რომელშიდაც ჯამი მანგანუმის და სილიციუმის შემცველობისა პროცენტებში ტოლია 82. (ანუ $\% \text{Mn} + \% \text{Si} = 82$) ნატურალური ტონებიდან ბაზურ ტონებში გადაანგარიშება წარმოებს შემდეგი ფორმულის საშუალებით:

$$Q_{\text{ბაზ.ტ.}} = \frac{Q_{\text{ნატ.ტ.}} \cdot A\%}{45\%} \quad (\text{ფეროსილიციუმისათვის})$$

$$Q_{\text{ბაზ.ტ.}} = \frac{Q_{\text{ნატ.ტ.}} \cdot A\%}{82\%} \quad (\text{სილიკომანგანუმისათვის})$$

სადაც A - ფაქტიური რაოდენობაა სილიციუმისა შენადნში %-ში (ფეროსილიციუმში), ხოლო სილიკომანგანუმისათვის A - არის მანგანუმის და სილიციუმის ფაქტიური რაოდენობების ჯამი %-ში.

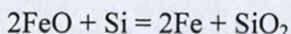
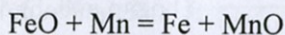
ზუსტად ასევე შეიძლება გადაითვალოს ყველა დანარჩენი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები ბაზურ ტონაზე: ნედლეული მასალების ხარჯი, ელ. ენერჯის ხარჯი და სხვა.

ფეროშენადნობების ძირითადი დანიშნულებაა ფოლადების ხარისხის გაუმჯობესება მათი განუანგვისა და ლეგირების საშუალებით. ფეროშენადნობები გამოიყენებიან აგრეთვე ოქსიდების სილიკოთერმული ხერხით აღ-

სადგენად. მაგალითად, საშუალონახშირბადიანი ფერო-
მანგანუმის და ლითონური მანგანუმის მისაღებად, და-
ბალნახშირბადიანი ფეროქრომის მისაღებად და სხვა.

ფოლადების განჟანგვა მდგომარეობს ჭარბი ჟანგ-
ბადის ბლოკირებასა და მოშორებაში, რომელიც ლი-
თონში დნობის შემდეგ ისეთი რაოდენობით რჩება, რომ
მან გლინვის და ჭედვის დროს შეიძლება გამოიწვიოს
ფოლადების ე.წ. ცხელტეხვადობა, რომელსაც საბოლოოდ
მიყვავართ ნაკეთობის წუნთან.

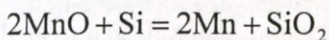
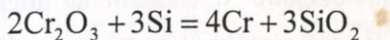
ფოლადების განჟანგვისათვის გამოყენებიან ისეთი
ფეროშენადნობები, რომლებშიდაც წამყვანი ელემენტი ამ-
ჟანგებს უფრო მეტ სწრაფვას ჟანგბადთან, ვიდრე რკი-
ნა. მაგალითად, ფერომანგანუმი, ფეროსილიციუმი, ფერო-
ტიტანი და სხვა. ფოლადებში ასეთი ფეროშენადნობების
შეყვანისას, ფოლადის თხევად აბაზანაში, მიმდინარეობს
განჟანგვის რეაქციები:



ფოლადების სხვადასხვა ელემენტებით (Si, Mn, Cr, W),
რომლებიც ფეროშენადნობა შემადგენლობაში შედიან,
ლეგირების მიზანია მიანიტონ ფოლადებს სპეციალური
ფიზიკური და ქიმიური თვისებები. ფოლადის თხევად აბა-
ზანაში, ფოლადების ფეროშენადნობებით ლეგირებისას
ღებულობენ უჟანგავ ფოლადებს (ფეროქრომის საშუალებით),
სწრაფმჭრელ ფოლადებს (ვოლფრამის გამოყენე-
ბით) და სხვა.

ოქსიდების სილიკოთერმული ადგენისათვის ადნობენ
ისეთ ფეროშენადნობებს, როგორცაა სილიკომანგანუმი,

სილიკოქრომი, რომლებიც ფეროშენადნობთა ღუმელებში შეჰყავთ შესაბამის მადნებთან ერთად. ამ დროს მიდის ქრომის ან მანგანუმის აღგენა სილიციუმის საშუალებით:



მიღებული ფეროშენადნობების თითქმის 95% გამოიყენება ფოლადის მეტალურგიაში. უნდა ითვქას, რომ ფეროშენადნობების გარეშე ვერ იქნება მიღებული თუნდაც რიგითი მარკის ფოლადები, რომ აღარაფერი ვთქვათ სპეციალურ, ლეგირებულ-მაღალხარისხოვან ფოლადებზე. ფეროშენადნობები მცირე რაოდენობით გამოიყენებიან აგრეთვე ფერად მეტალურგიაში და ქიმიურ მრეწველობაში.

ფოლადების განუანგვისა და ლეგირებისათვის ფეროშენადნობების გამოყენება და არა ტექნიკურად სუფთა ელემენტებისა, განპირობებულია იმით, რომ სუფთა ელემენტების მიღება-გამოდნობა გაცილებით ძნელია ვიდრე შესაბამის ელემენტიანი ფეროშენადნობის, ისინი გაცილებით ძვირი არიან და ბოლოს - სუფთა ელემენტები ძნელად იხსნებიან თხევად ფოლადში, ვიდრე ფეროშენადნობები.

ამ გარემოებათა გათალისწინებით, ფეროშენადნობების მაგივრად სუფთა ელემენტები გამოიყენებიან მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ფოლადსადნობ აბაზანაში არ შეიძლება შეყვანილ იქნას რკინა, ან მალეგირებულ ელემენტს წაეყენება განსაკუთრებული მოთხოვნები, რომ ის არ შეიცავდეს სხვა თანამდევ მინარეგებს (ნახშირბადი, სილიციუმი).

1 ტონა ფოლადზე დახარჯული ფეროშენადნობების რაოდენობა სხვადასხვა ქვეყანაში, ტექნიკისა და ტექნოლოგიის განვითარების შესაბამისად სხვადასხვაა და შემდეგ ზღვრებში მერყეობს: მაგალითად, მანგანუმის ხარჯი, გადათვლილი სუფთა მანგანუმზე რუსეთში შეადგენს 9 კგ/ტ (0,9% მთელი ფოლადის წონისა), აშშ – 8,0 კგ/ტ ხოლო იაპონიაში 6,5 კგ/ტ. ასევეა ფეროსილიციუმიც. იგი ერთ ტონა ფოლადზე, გადაანგარიშებული ΦC45 იხარჯება დაახლოებით 7 კგ/ტ (0,7% მთელი ფოლადებისა).

ცხრილში მოცემულია ძირითადი ფეროშენადნობები, მათი დანიშნულება და გამოყენების არეალი.

**ფეროშენადნობების ძირითადი სახეობები,
მათი დანიშნულება და მიღების მეთოდები**

ფეროშენადნობი	დანიშნულება (გამოყენება)
ფეროსილიციუმი	ფოლადების განუანგვა. ელექტროტექნიკური (სატრანსფორმატორო) და სარესორო-საზამბარე ფოლადების ლეგირება; სპეციალური დანიშნულების სითბომედეგი, საკონსტრუქციო, ინსტრუმენტალური და სხვა სახის ფოლადების ლეგირება. როგორც აღმდგენელი სხვა ფეროშენადნობების (ფეროვანადიუმი, ფერომოლიბდენი და სხვა) საწარმოებლად.
კრისტალური სილიციუმი	სილიციუმიანი ბრინჯაოს საწარმოებლად, სოლუმინის მისაღებად.
სილიკოკალციუმი	ფოლადების განუანგვა.
სილიკოალუმინი	ფოლადების განუანგვა. როგორც აღმდგენელი ლითონთერმულ პროცესებში, თერმიტული შედუღების დროს და სხვა.

ფერომანგანუმი	ფოლადების განუანგვა. საინსტრუმენტო, საკონსტრუქციო და მა- ღალმანგანუმიანი ფოლადების ლეგირებუ- სათვის. ფოლადების დესულფურაციისათვის.
სილიკომანგანუმი	ფოლადების განუანგვა. მცირედლეგირებული ფოლადების ლეგირე- ბა. ნახევრადპროდუქტი საშუალო, მცირე- ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის და ლი- თონური მანგანუმის მისაღებად. ხარისხი- ანი შესადული ელექტროლების გარე საგო- ზავების დასამზადებლად.
ლითონური მან- განუმი	სპეციალური, დაბალრკინაშემცველი შენად- ნობების მიღება; დაბალნახშირბადიანი, მა- ღალმანგანუმიანი ფოლადების მიღება. ფე- რად მეტალურგიაში.
ფეროქრომი	უჟანგავი, მჟავამედეგი, დაბალნახშირბად- იანი, ქრომოლფორამიანი, საკონსტრუქციო, მაღალქრომიანი, სითბომედეგი, საინსტრუ- მენტო ფოლადების ლეგირება.
სილიკოქრომი	აღმდგენელი-დაბალნახშირბადიანი (2%С) ფეროქრომის საწარმოებლად. უჟანგავი, დაბალლეგირებული ქრომიანი და ქრომსილიციუმიანი ფოლადების ლეგი- რებისათვის.
ფეროშენადნობი	დანიშნულება (გამოყენება)
ფეროვანადიუმი	საინსტრუმენტო, საკონსტრუქციო ფოლადე- ბის და ზოგიერთი თუჯების ლეგირება.
ფეროვოლფრამი	სპეციალური საინსტრუმენტო (ძირითადად სწრაფმჭრელი) და ზოგიერთი საკონსტრუ- ქციო ფოლადების ლეგირება.
ფერომოლიბდენი	საკონსტრუქციო, სწრაფმჭრელი, უჟანგავი, სითბომედეგი, მჟავაგამძლე ფოლადების ლეგირება.
ფეროტიტანი	ფოლადების განუანგვა.

ფეროშენადნობთა წარმოების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე გამოიყენება ფეროშენადნობთა მიღების ოთხი ხერხი:

1. ელექტროთერმული – (ნახშირბადალდგენითი და სილიკოთერმული). ამ მეთოდის გამოყენებით დნობა მიმდინარეობს რკალურ მადანთერმულ ღუმელებში, რომლებშიდაც სითბო მოყვანილია გარედან ელ. ენერჯიის საშუალებით.

2. ლითონთერმული – ამ დროს დნობა მიმდინარეობს კერებში, სითბოს გარედან მიყვანის გარეშე. დნობისათვის აუცილებელი სითბო მიიღება პროცესის ეგზოთერმული რეაქციების შედეგად.

3. ელექტროლიტური – ელემენტების აღდგენა ხორციელდება ელექტროენერჯიით, შესაბამისი ელემენტების ოქსიდების (Mn, Cr) გოგირდმჟავას ხსნარებიდან.

4. დნობა ბრძმედის ღუმელებში – ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ მხოლოდ ნახშირბადიანი ფერო-მანგანუმი და ღარიბი ფეროსილიციუმი, 9-14% Si.

უკანასნელ წლებში მრეწველბაში ინერგება ფეროშენადნობთა მიღების ახალი ხერხები – თხევადი ლითონების რაფინირება კონვერტერებში ჟანგბადის შებერვით (ვაკუუმში და ვაკუუმის გარეშე). მიმდინარეობს ფართო კვლევითი სამუშაოები ფეროშენადნობების მისაღებად პლაზმურ ღუმელებში.

ფეროშენადნობების მიღების ძირითადი ხერხია მათი მიღება ელექტროთერმული მეთოდით, ამიტომაც სხვადას-

სვა ფეროშენადნობების ძირითადი და უდიდესი ნაწილი იწარმოება ელექტროლუმებში.

ელექტროთერმული და ლითონთერმული მეთოდები, თავის მხრივ, კლასიფიცირდებიან გამოყენებული აღმდგენლების მიხედვით:

1. ნახშირბადაღმდგენითი პროცესები, რომლის დროსაც ოქსიდების აღმდგენლად გამოიყენება ნახშირბადი (კოქსწვრილა, ანტრაციტი და სხვა) იგი ყველაზე იაფი აღმდგენელია.

2. სილიკოთერმული პროცესები, რომლის დროსაც აღმდგენლად გამოიყენებულია ფეროსილიციუმის, სილიკომანგანუმის, სილიკოქრომის სილიციუმი. ისინი კოქსწვრილასთან შედარებით უფრო ძვირი აღმდგენლებია, მაგრამ საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას უნახშირბადო ფეროშენადნობები.

3. ალუმოთერმული პროცესები, რომლის დროსაც აღმდგენლად გამოიყენება ალუმინი. ის არის ყველაზე ძვირი აღმდგენელი. იგი საშუალებას გვაძლევს ადვადგინოთ ყველაზე ძნელად აღსადგენი ოქსიდები და მივიღოთ უნახშირბადო შენადნობები.

იმის მიხედვით დნობისას იყენებენ თუ არა ფლუსებს (კირი, დოლომიტი, კვარციტი და სხვა) ფეროშენადნობების მიღების პროცესი შეიძლება იყოს ფლუსიანი და უფლუსო. გასაგებია, რომ უფლუსო პროცესი უფრო ადვილი და იაფია.

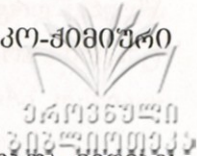
ფეროშენადნობების მიღებისას ყოველთვის წარმოიქმნება წილის გარკვეული რაოდენობა. მაშინ, როდესაც წიდა ისე მცირეა, რომ იგი ღუმელიდან გამოსვლისას არ

საჭიროებს სპეციალურ ჭურჭელს (ციცხვეები, საწიდურები), ასეთ პროცესებს პირობითად უწოდებენ უწიდოს. ხოლო როდესაც წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი რაოდენობის წიდა, პროცესს ეწოდება წიდური.

ბოლოს, პროცესები შეიძლება იყოს უწყვეტი და წყვეტილი. უწყვეტი პროცესების დროს ღუმელი მუდმივადაა ჩართული, კაზმი მისი გადნობის შესაბამისად მუდმივად მიეწოდება ღუმელში, ხოლო ლითონის და წიდას გამომშვება ხდება პერიოდულად გრაფიკის მიხედვით.

პერიოდული პროცესის დროს, კაზმის მთელი რაოდენობა იტვირთება ღუმელში, გადნება, ადღებება, რის შემდეგაც ღუმელს გამორთავენ და ლითონსა და წიდას გამოუშვებენ. შემდეგ ეს ციკლი ხელახლა მეორდება.

თავი 1. ფეროშენადნობების მიღების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები

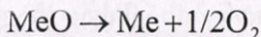


1.1. მაღანაღმგანულ ლუმელებში ფეროშენადნობთა მიღების ტექნოლოგიის საფუძვლები

ფეროშენადნობების გამოდნობა ლუმელებში წარმოადგენს რთული ფიზიკო-ქიმიური, ელექტრული და თბური პროცესების შეთავსებას. ლუმელის მუშაობის რაციონალური რეჟიმით მუშაობისათვის აუცილებელია ყველა ამ ფაქტორების გათვალისწინება და სწორად განვსაზღვროთ თითოეულის როლი დნობის პროცესში.

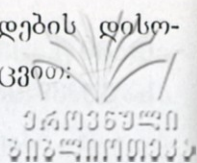
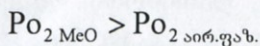
ყველა ლითონები და არაღლითონები, რომლებიდანაც მიიღებიან ფეროშენადნობები, ბუნებაში არსებობენ ოქსიდების ან მათი გოგირდოვანი ნაერთების სახით (SiO_2 , MnO_2 , Cr_2O_3 , MoS და სხვა). ამიტომ ფეროშენადნობების მიღებისას ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ლითონების (ან არაღლითონების) აღდგენა მათი ჟანგბადთან (ან გოგირდთან) ნაერთებიდან, შესაბამისი შენადნის მიღებით რკინასთან ან სხვა ელემენტებთან.

ერთი შეხედვით, ლითონის განთავისუფლება მისი ნაერთებიდან ყველაზე ადვილად შესაძლებელია ოქსიდების თერმული დისოციაციით შესაბამის ტემპერატურაზე:

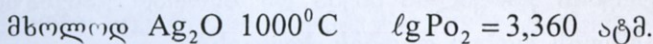
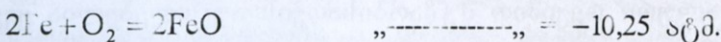
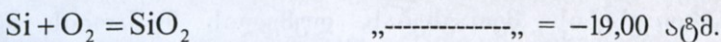
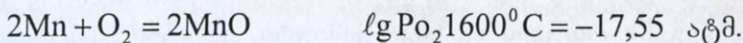


მაგრამ ამ მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ჟანგბადის დისოციაციის დრეკადობა $\text{Po}_{2, \text{MeO}}$ მეტია ვიდრე ჟანგბადის პარციალური

წნევის დრეკადობა აირად ფაზაში ე.ი. ოქსიდების დისოციაციის პროცესი მიდის შემდეგი პირობის დაცვით:



ამ პირობის რეალიზება პრაქტიკულად შეუძლებელია ოქსიდების თუნდაც ვაკუუმში გახურებით, რადგანაც $Po_{2 MeO}$ ძალიან მცირეა:



ფეროშენადნობების მიღებისას, რიგ შემთხვევაში პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება მხოლოდ მაღალი ოქსიდების დისოციაციას. მაგალითად, მანგანუმიანი შენადნობების მადნებიდან მიღებისას, რომლებიც შეიცავენ ისეთ ოქსიდებს, როგორცაა MnO_2 , Mn_2O_3 , ეს ოქსიდები ჰაერზე იშლებიან შესაბამისად 425° და $950^{\circ}C$ ტემპერატურებზე:



მაშინ, როდესაც Mn_3O_4 და MnO დაშლისათვის საჭიროა 1500 და $3380^{\circ}C$ ტემპერატურა შესაბამისად.

ამრიგად, ლითონების მისაღებად მათი ოქსიდებიდან ჩვენ არ შეგვიძლია ვისარგებლოთ თერმული დისოციაციის მეთოდით, არამედ აუცილებელია ოქსიდების აღსადგენად გამოვიყენოთ მყარი ან აიროვანი აღმდგენელები.

აღმდგენელის შერჩევისას აუცილებელია შემდეგი საკითხების გათვალისწინება - გადაჭრა:

1. მოცემული (წამყვანი) ელემენტის, თავისი ოქსიდებიდან აღდგენის შესაძლებლობა.

2. მადნებიდან ლითონში აღდგენილი ელემენტის გადასვლის (ამოკრეფის) ხარისხი, (სასარგებლო ელემენტის ამოკრეფის როგორი საბოლოო შედეგი მიიღწევა).

3. ელემენტის მადნებიდან აღდგენის როგორი მაქსიმალური სიჩქარის მიღწევაა შესაძლებელი.

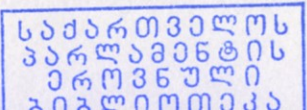
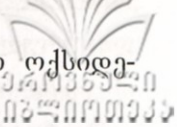
პირველ ორ კითხვაზე სპეციალური გამოკვლევების გარეშე, გათვლების საშუალებით, პასუხს გვაძლევს თერმოდინამიკა, ხოლო მესამე კითხვაზე - კინეტიკა, რომლისთვისაც აუცილებელია პროცესის მექანიზმის ცოდნა და საჭიროებს ექსპერიმენტის ჩატარებას.

ნათელია, რომ ზემოთდასმულ ამ სამ ძირითად კითხვაზე პასუხის გაცემის შემდეგ, შესაძლებელია შემუშავდეს ამა თუ იმ ფეროშენადნობის მიღების რეალური ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალ ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

12. ღუმელის აბაზანის აბეზულეა და მასში დნევის ბანაჟილება

დნობის უწყვეტი პროცესების დროს ღუმელის აბაზანა მუდმივად შევსილია კაზმით და მისი გადნობის შესაბამისად მას თანდათან მიეწოდება კაზმის ახალი ულუფები. ელექტროდები ჩაშვებულია კაზმში საკმაო სიღრმეზე (1-2 მ) და მათ ბოლოზე კაზმის ქვედა ფენებში ან-

1270.5/9



თია ელექტრული რკალი. ასეთ ღუმელებს ეწოდებათ დახურულ რკალიანი ღუმელები.

სილიციუმიანი შენადნობების გამოდნობისას ელექტროენერჯის გამოყენებაში (ფეროსილი-ციუმი, სილიკოქრომი, სილიკოკალციუმი და სხვა), როდესაც კაზმს გააჩნია დნობის მაღალი ტემპერატურა, ელექტროდების ქვეშ წარმოიქმნება აიროვანი სიღრუვე (ელექტროდს ქვედა არეალი), რომლებშიდაც ანთია ელექტრული რკალი.

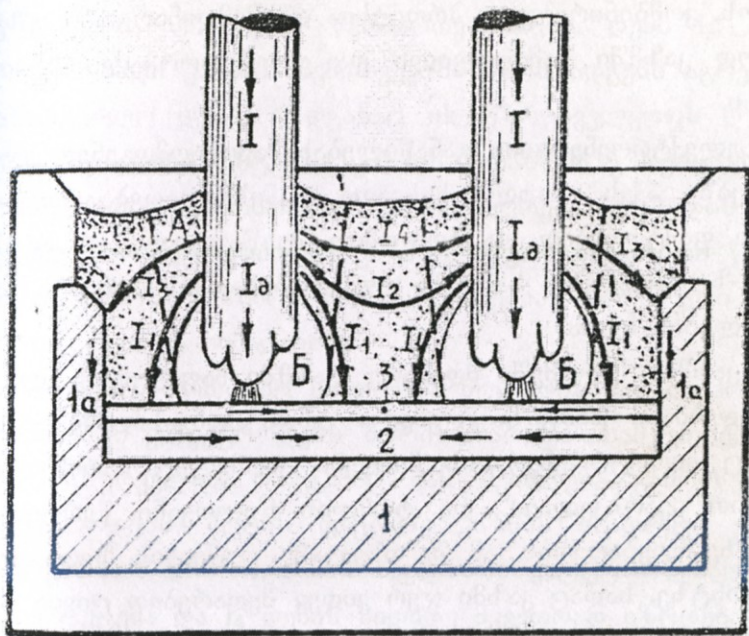
შედარებით ადვილდნობადი კაზმის შემთხვევაში (მაგალითად, სილიკომანგანუმი, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი და სხვა), მკაფიოდ გამოსახული აიროვანი სიღრუვე არ აღინიშნება და ელექტრული რკალები ანთია გამდნარი კაზმის მაგმაში (ზოგჯერ კოქსის ფენაზე) ან წიდაში. კოქსის ფენა წარმოიქმნება აღდგენით პროცესებზე დაუხარჯავი კოქსისაგან.

ყველაზე მაღალი ტემპერატურები ვითარდება რკალის ზონებში (აიროვან, ელექტროდის ქვედა არეალში), სადაც მიმდინარეობს კაზმის საბოლოო გადნობა და მთავრდება ძირითადი აღდგენითი პროცესები. ელექტროდის ირგვლე წარმოქმნილ კაზმის კონუსურ მოცულობას, რომლის ქვედა ბოლოს წარმოადგენს ელექტროდის ბოლოში წარმოქმნილი აიროვანი არეალი, ეწოდება ტიგელი.

ტიგელის მოცულებაში გამოიყოფა და მოძრაობს ცხელი აირების უდიდესი ნაწილი, რომლებიც თავის სითბოს გადასცემენ ქვემოთ ჩამავალ საკაზმე მასალებს, ახურებენ მათ და მაღალ ოქსიდებს აღადგენენ დაბალ ოქსიდებამდე (მაგალითად, მანგანუმის ოქსიდები). განიერი, ფართე ტიგელები - ნიშანია ღუმელის კარგი, ნორმალური

სვლის, ხოლო ვიწრო ტიგელები მაჩვენებელია იმისა, რომ ღუმელის მუშაობაში რაღაც დარღვევებია.

ღუმელის კედლებთან შემცხვარი და ნახევრად შემღვალი კაზმი წარმოქმნის ე.წ. გარნისაჟს, რომელიც იცავს ღუმელის ამონაგს დაშლისაგან.



ნახ. 1. მადანაღმდგენი ღუმელის აბაზანაში ელექტრული დენების განაწილება

1 - ნახშირის ბლოკები (ქვედი); 1a - ნახშირის ბლოკები (კედლის); 2 - ლითონი; 3-წიდა.

A-ტიგელი; B-აირის (ელექტროდის ქვედა) არე ღუმელის ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია დაეიცვათ ძირითადი მოთხოვნა (წესი), რომელიც გულის-

ხმობს, რომ სწორად და კარგად მომუშავე ღუმელს უნდა ჰქონდეს ცხელი ქვედი და ცივი საკერძე. ეს მოთხოვნა შეიძლება დაცული იქნას ელექტროდების კაზმში დრმა მდებარეობის პირობებში და ღუმელის აბაზანაში ელექტროენერგიით გამოყოფილი სითბოს სწორი განაწილების შემთხვევაში.

კაზმის გახურება ღუმელში, უწყვეტი პროცესების დროს, კომბინირებული პროცესია და მიმდინარეობს უშუალოდ კაზმში გამოყოფილი და ელექტრორკალის სითბოთი.

ელექტროენერგიის განაწილებას მადანაღმდგენელ ღუმელებში აქვს რთული ხასიათი, განისაზღვრება მთელი რიგი ფაქტორებით და ბოლომდე შესწავლილი არ არის. ნახ.1-ზე ნაჩვენებია სამფაზა ღუმელებისათვის დენების განაწილების სქემა.

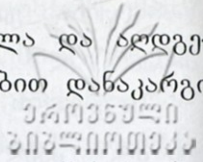
კაზმის სიღრმეში მდებარე (კაზმში ჩაფლული) ელექტროდებიანი სამფაზა ღუმელი უნდა განვიხილოთ როგორც ელექტროენერგიის მიმღები, რომელიც ჩართულია სქემით „ვარსკვლავი“ და რომლის ნულოვანი წერტილი ქვედა მდებარეობს. ამ შემთხვევაში ღუმელის ზედა კორიზონტზე, სადაც კაზმი ჯერ კიდევ შედარებით ცივია და აქვს მაღალი ელექტრო წინაღობა, ელექტრული დენის გამტარი ძირითადად არის მხოლოდ ელექტროდი. ღუმელის შუა და ქვედა კორიზონტებზე, სადაც კაზმი უკვე საკმაოდ გაცხელებულია და ნაწილობრივ შეიძლება გამდგალიც იყოს, მიმდინარეობს კაზმში დენის მნიშვნელოვანი განშტოება, წარმოიქმნება კაზმური გამტარობის დენები (I_1 , I_2 , I_3 , I_4). დენის მეორე ნაწილი მიედინება ელექტროდში და

წარმოქმნის ელექტრულ რკალს (I რკალის), რომელიც ანთის ელექტროდის ბოლოსა და წიდას შორის.

ღუმელის მუშაობის ძირითადი წესის მისაღწევად „ცხელი ქვედი და ცივი საკერძე“ - ესწრაფვიან, რომ ელექტროდები კაზმში ღრმად იყოს ჩაშვებული. ამ დროს სასარგებლო დენების I რკალ, I_1 , I_2 მეშვეობით წარმოიქმნება მაღალი ტემპერატურების კერები, რომლებიც ასე აუცილებელია პროცესის წარმართვისათვის. დენი I_3 , ძნელადდნობადი კაზმის შემთხვევაში წარმოადგენს აგრეთვე სასარგებლო დენს, რადგანაც ის უზრუნველყოფს ღუმელის შუა ჰორიზონტებზე კაზმის წინასწარ გახურებას. I_3 დენის სიდიდე, ძირითადად განისაზღვრება (ღუმელის მოცემულ პარამეტრებში და კაზმის ომური ხვედრითი წინაღობის დროს) ნახშირბადიანი ბლოკებით ამოგებული ღუმელის კედლის სიმაღლით.

დენი I_4 , რომელიც მიედინება ღუმელის მაღალ ჰორიზონტებში ელექტროდებს შორის (ჩართვა „სამკუთხედი“), არა სასურველია, რადგანაც მან შეიძლება გამოიწვიოს ელექტროდებს შორის მდებარე კაზმის ნაადრევი გადახურება. ამ დროს კაზმის ხვედრითი ელექტროწინაღობა ძლიერ ეცემა და I_4 დენის სიდიდე მკვეთრად იზრდება. ამ დროს ფაზაზე მაქსიმალური დასაშვები დენის (I) შესანარჩუნებლად იძულებული ვხდებით ზემოთ ავწიოთ ელექტროდი, მათი კაზმში ჩაშვების სიმაღლე შევამციროთ, რასაც მოჰყვება მეტად არასასურველი შედეგი - მაღალი ტემპერატურების კერა გადმოინაცვლებს მაღლა საკერძისაკენ. ამის შედეგად ღუმელის ქვედი თანდათან გაცივდება, საკერძე კი - გადახურდება, რამაც შეიძლება გამო-

იწვიოს ღუმელის მუშაობის (სვლის) მოშლა და აღდგენილი, წამყვანი ელემენტის დიდი რაოდენობით დანაკარგი (აორთქლება).



დენი I_4 -ის საკმაოდ მაღალი მაჩვენებელი შესაძლებელია გამოწვეული იყოს კაზმის არასწორი შერჩევით (აღმდგენელის სიჭარბე, კაზმის განშრევა), მომატებული ძაბვით, ელექტროდების განშლის დიამეტრის სიმცირით და ა.შ.

ცნობილია, რომ ღუმელის მოხმარებული სიმძლავრეა $W = UI \cos \phi$. $\cos \phi$ -ის (სიმძლავრის კოეფიციენტი) მაღალი მაჩვენებლების მისაღწევად სასურველია შეძლებისდაგვარად ღუმელმა იმუშაოს ძაბვის მაღალ საფეხურებზე, მაგრამ ამან შეიძლება გამოიწვიოს ელექტროდების მაღლა წამოსვლა, ქედის გადაცივება და საკერძის გადახურება. უკიდურეს შემთხვევაში ამ დროს შეიძლება მოხდეს ე.წ. კაზმის გახსნა და რკალი აინთება პირდაპირ კაზმის ზემოთ.

ამიტომაც, ყოველი პროცესისათვის და ყოველი ღუმელისათვის უნდა შეირჩეს ღუმელზე მიყვანილი ძაბვის ოპტიმალური საფეხური, რომლის დროსაც ღუმელი მუშაობს კარგად და მიიღწევა მაღალი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ძაბვის ოპტიმალური სიდიდე სრულად არ განისაზღვრება თეორიული გათვლებით და იგი შეიძლება დადგინდეს მოცემული შენადნისათვის, მხოლოდ ძაბვის სხვადასხვა საფეხურზე მუშაობისას მატერიალური და ენერგეტიკული დანახარჯების შედარებით.

როგორც ცნობილია ღუმელის სიმძლავრე წარმოადგენს ჯამს რკალში და კაზმში გამოყოფილ სიმძლავრეებისა, რომელთა შორის არსებობს მჭიდრო კავშირი. ღუმელის საერთო წინაღობა ($R_{\text{ღუმ}}$), რომელზედაც ძაბვის

მოცემულ საფეხურზე, მჭიდროდაა დამოკიდებული საერთო დენის სიდიდე ($I_{საერთო}$), განისაზღვრება რკალის ($R_{რკალი}$) და კაზმის ($R_{კაზმი}$) წინაღობით:

$$\frac{1}{R_{ლუმ}} = \frac{1}{R_{რკალი}} + \frac{1}{R_{კაზმი}} \quad \text{და} \quad I_{საერთო} = I_{რკალის} + I_{კაზმის}$$

კაზმში გამავალი დენის ძალის შემცირება ზრდის რკალში გამავალ დენის ძალას ($I_{რკალ.}$) და ელექტრო რკალის სიმძლავრეს და პირიქით, $I_{კაზმის}$ გაზრდა ამცირებს რკალის სიმძლავრეს.

ამრიგად, კაზმის წინაღობის ცვლევებით, ღუმელის მოცემული პარამეტრების და ძაბვის შემთხვევაში, შესაძლებელია რკალში და კაზმში გამოყოფილი სიმძლავრის სიდიდეების გადანაწილება. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ღუმელში სითბოს გამოყოფის ორი ძირითადი მაჩვენებელი (ელექტრო რკალი და სითბო, რომელიც წარმოიქმნება კაზმში) შესაძლებელია მკვეთრად იცვლებოდეს ტექნოლოგიური პროცესის ხასიათის, ღუმელის პარამეტრების და მიყვანილ ძაბვაზე დამოკიდებულებით.

ელექტრული რკალი, როგორც მაღალი ტემპერატურის წყარო, რიგი პროცესებისათვის აუცილებელია და ასრულებს გადამწყვეტ როლს. რკალის ზონაში მიმდინარეობს კაზმის ძნელადდნობადი ნაწილის და წილის საბოლოო გადნობა, აგრეთვე მიდის ოქსიდების აღდგენის რეაქციები, რომლებიც მიმდინარეობენ სითბოს დიდი რაოდენობის შთანთქმით. ასეთ პროცესებს, სადაც რკალი თამაშობს გადამწყვეტ როლს და მის გარეშე პრაქტიკულად შეუძლებელია პროცესის წარმართვა, განეკუთვნება

ისეთი სილიციუმის შენადნობების მიღება როგორცაა, კრისტალური სილიციუმი, ფეროსილიციუმი, სილიკოკალციუმი, სილიკოალუმინი და სხვა. (მაგალითად DC 45 დნობსას რკალში გამოიყოფა სიმძლავრის 40%, ხოლო კაზმში 60%. DC 75 -ის შემთხვევაში კი - რკალში 85%, კაზმში კი 15%.

სხვა შემთხვევებში, მაგალითად, სილიკომანგანუმის, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის, ნახშირბადიანი ფეროქრომის, გამოდნობის დროს ღუმელები მუშაობენ ე.წ. „ურკალო“ რეჟიმში (ღუმელი მუშაობს თითქმის როგორც წინააღობის ღუმელი). მუშაობის ასეთი რეჟიმის დროს ელექტროდები ჩაშვებულია წიდაში ან კოქსთან არეულ გამდნარ მადანში, სადაც ელექტროდის და წიდის კონტაქტის ადგილებში, ძლიერი ადგილობრივი გადახურების გამო, წარმოიქმნება პატარ-პატარა ე.წ. „მიკრორკალები“. ეს რკალები წარმოიქმნებიან და ქრებიან ხან ერთ, ხან მეორე ადგილზე.

მძლავრი ელექტრული რკალების არ არსებობა, ისეთი შენადნობების გამოდნობსას, როგორცაა სილიკომანგანუმი, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი და სხვა, კარგ გავლენას ახდენს დნობის პროცესის მაჩვენებლებზე. იგი საშუალებას გვაძლევს ვიმუშაოთ ძლიერი ლოკალური გადახურების კერების გარეშე, რაც თავისთავად ამცირებს მანგანუმის დანაკარგებს აორთქლებაზე (მანგანუმს გააჩნია მაღალი დისოციაციის დრეკადობა).

ღუმელებში ენერჯის განაწილებაზე და თბური ეფლის ხასიათზე დიდ გავლენას ახდენს თანაფარდობა - ერთის მხრივ - კაზმის დნობის ტემპერატურასა და სინქარეს, მეორეს მხრივ - ოქსიდების ალგენის ტემპერატუ-

რასა და სიჩქარეს შორის. თუ კაზმის დნობის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად დაბალია ოქსიდების აღდგენის პროცესების საბოლოო ტემპერატურაზე, მაშინ ლუმენის შუა და ქვედა ზონები ივსება კოქსთან შერეული დიდი რაოდენობის გამდნარი კაზმით, რის შედეგადაც მაღალი ტემპერატურების ზონა ინაცვლებს ლუმენის მაღალ ჰორიზონტებში და საკერძოზე წარმოიქმნება თხევადი ფაზა.

გარდა ამისა, ლუმენში ენერჯის განაწილებაზე გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება კაზმის ხვედრით წინაღობას. იმის მიხედვით თუ რა შენადნი უნდა იქნეს მიღებული, კაზმში შეჰყავთ სხვადასხვა საწყისი მასალები: მანგანუმის კონცენტრატი ან აგლომერატი, კვარციტი, ქრომის მადანი, კირი, დოლომატი, რკინის ბურბუშელა, ნახშირბადის შემცველი აღმდგენელი. მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ხვედრითი წინაღობა სხვადასხვა ოქსიდების, მადნების, აღმდგენელების, წილების და ლითონების იცვლება ძალიან ფართო დიაპაზონში და აბსოლუტური სიდიდით ათასჯერ და მილიონჯერ შეიძლება ერთმანეთისაგან განსხვავებული იყოს.

მადნები, ოქსიდები და მდნობები დაბალი ტემპერატურების პირობებში დენს პრაქტიუკლად არ ატარებენ. აღმდგენელები (კოქსი, ხის ნახშირი და სხვა) კი - პირიქით, უკვე დაბალ ტემპერატურებში ამუღავნებენ მნიშვნელოვან ელექტროგამტარობას. ამიტომ დაბალ ტემპერატურებზე (ლუმენის ზედა ჰორიზონტები) კაზმის გამტარობა განისაღზერება, ძირითადად, აღმდგენელის და რკინის ბურბუშელის გამტარებლობით.

ტემპერატურებზე, სადაც ხდება კაზმის გარბილება, შეცხოება და წარმოიქმნება თხევადი ფაზა (1050-1150°C), მი-

სი ხვედრითი წინაღობა მკვეთრად ეცემა და პრაქტიკულად უტოლდება ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტრო წინაღობას.

კაზმის გამტარებლობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასში რკინის ბურბუშელის ან სხვა ლითონური დანამატების არსებობა. მაგრამ ამ შემთხვევაშიც ძირითადი კომპონენტი, რომელიც განსაზღვრავს კაზმის ელექტრო გამტარობას, არის ნახშირბადის შემცველი აღმდგენელი. ამით აიხსნება ის, რომ მაღალი ელექტროწინაღობის მქონე აღმდგენელის მიღებას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება.

ჩატარებულია გამოკვლევები ნახევრადკოქსის და სხვადასხვა ნახშირების გამოყენებაზე, რომლებსაც აქვთ შედარებით მაღალი ელექტროწინაღობა. ამ აღმდგენელების გამოყენება საშუალებას გვაძლავს დუმელმა იმუშაოს ელექტროდების უფრო ღრმა მდებარეობით, რაც საბოლოოდ აუმჯობესებს დნობის ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

უნდა აღინიშნოს ის ფაქტიც, რომ მაღალი წინაღობის მქონე აღმდგენელების გამოყენებამ არ უნდა დაგვაიწყოს მათი მეორე, არანაკლებ მნიშვნელოვანი თვისება – მათი ქიმიური აქტივობა. შესაძლებელია მოიძებნოს ისეთი აღმდგენელი, რომელსაც ექნება მაღალი ელექტროწინაღობა, მაგრამ იგი შეიძლება გამოდგეს დაბალაქტიური, როგორც აღმდგენელი. მაშინ, მიუხედავად ელექტროდების დაბალი მდებარეობისა და ძაბვის მაღალ საფეხურზე მუშაობისა, დუმელის წარმადობა სასურველზე დაბალი იქნება (ამის მაგალითია ანტრაციტის გამოყენება).

13. კაზმის სვლა ღუმელში და დნობის პროდუქტების ტემპერატურა



კაზმის დნობის და აღდგენის შედეგად, წარმოიქმნება რა ლითონი და წიდა, ღუმელის ქვედა ჰორიზონტებში მყოფი კაზმის მოცულობა თანდათან მცირდება. მაღლა არსებული კაზმი სიმძიმის ძალის გავლენით ეშვება დაბლა. ზემოდან ღუმელში იტვირთება კაზმის ახალი ულუფები და ა.შ.

საკერძის ნორმალური მუშაობის დროს, კაზმის კარგი აირგანვლადობის შემთხვევაში, აირები თანაბრად გამოიყოფიან საკერძის ზედაპირზე და ღია ღუმელებში კაზმის ზედაპირზე მრავალი პატარ-პატარა ჩირადნები ანთია. აირები ძირითადად ელექტროდების გარშემო გამოიყოფიან. რიგ შემთხვევაში, ღუმელების ზედა ჰორიზონტებზე კაზმი შეიძლება შეცხვეს, შეიკრას როგორც თაღი და მოხდეს მისი ჩამოკიდება. რის შედეგადაც კაზმში წარმოიქმნება არასასურველი არეები, სადაც გროვდება გამოყოფილი აირები და აღდგენილი ელემენტების ორთქლი. როდესაც აღნიშნული აირების და ორთქლის წნევა გარკვეულ სიდიდეს მიაღწევს, ისინი არღვევენ ამ შემცხვარ კაზმს და საკერძის ზედაპირზე დიდი კაშკაშა ალების სახით იწვიან. წარმოიქმნება ე.წ. „სანთლები“, რის შედეგადაც საკერძე აირებში იკარგება დიდი რაოდენობით წამყვანი ელემენტი. ამიტომაც ღია ღუმელებში ამ მოვლენას, შემცხვარი კაზმის ქერქის ჩანგრევით და მრავალჯის ჩანგრევებით ებრძვიან, დახურულ ღუმელებში კი ასეთი ხერხის გამოყენება შეუძლებელია. აღსანიშნავია ის, რომ კაზმის ზედაპირის შეცხობა ძირითადად გამოწვეულია სა-

კახემე მასალების წვრილმარცვლოვნებით, რაც თავისთავად კაზმის ცუდი მომზადების შედეგია.

კაზმის გადნობის, აღდგენის და წილის წარმოქმნის სინქარეს ძირითადად ღუმელში არსებული ტემპერატურული პირობები განსაზღვრავს.

ღუმელში ყველაზე მაღალ ტემპერატურა ელექტრული რკალის ზონაშია და 4000°C აღწევს. ამ ზონაში მთავრდება ყველა ის პროცესი, რომელიც ითხოვს ინტენსიურ გახურებას და მაღალ ტემპერატურას, მაგრამ ლითონის და წილის საშუალო ტემპერატურა ღუმელში არ განისაზღვრება რკალის ტემპერატურით. მართლაც, სილიკომანგანუმის და ფეროსილიციუმის დნობის დროს, ერთიდაიმავე სიმძლავრის ღუმელებში, გამოშვების წინ სილიკომანგანუმის ტემპერატურა არის $1500-1550^{\circ}\text{C}$, ხოლო ფეროსილიციუმის ტემპერატურა კი $1800-1850^{\circ}\text{C}$.

მაშასადამე, ელექტრული რკალი, როგორც მაღალი ინტენსივობის სითბოს წყარო, კომპენსაციას უკეთებს სითბოს დანახარჯს პროცესზე, ფორსირებას უკეთებს მას, მაგრამ საშუალო ტემპერატურას ღუმელში არ განსაზღვრავს.

განვიხილოთ რა ფაქტორები მოქმედებს ღუმელის ტემპერატურულ რეჟიმზე. წარმოვიდგინოთ, რომ ღუმელი მუშაობს როგორც მხოლოდ სადნობი აგრეგატი. მასში მიმდინარეობს მხოლოდ კაზმის თხევად მდგომარეობაში გადასვლა და გამოშვება. ამ შემთხვევაში საშუალო ტემპერატურას ღუმელის ქუროში განსაზღვრავს კაზმის დნობის ტემპერატურა. მიუხედავად იმისა რომ რკალის ზონაში გვექნება თხევადი შენადნის ნაწილობრივი გადახურება, ზედმეტი სითბო გადაეცემა შედარებით ნაკლებ

ბად გახურებულ შენადნის შრეებს, მყარ კაზმს და ა.შ. იმ მომენტამდე სანამ მთელი კაზმი არ გადნება, როგორც არ უნდა გავზარდოთ ღუმელის სიმძლავრე, ნაღობის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი გაზრდა შეუძლებელია. მთელი სითბო ხმარდება კაზმის გადნობას. ამ შემთხვევაში მიმდინარეობს ყინულიანი წყლის გახურების მსგავსი პროცესი. სანამ ყინული მთლიანად არ გადნება შეუძლებელია წყლის ტემპერატურა ნულ გრადუსზე მეტად გავზარდოთ.

თუ საკაზმე მასალების გადნობის პარალელურად მიმდინარეობს ოქსიდების აღდგენა და წილის წარმოქმნა, მაშინ ქუროს ტემპერატურას განსაზღვრავს ან კაზმის დნობის ტემპერატურა, ან ოქსიდების აღდგენის ტემპერატურა, ანდა წილის დნობის ტემპერატურა. თუ კაზმის დნობის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად დაბალია წილის დნობის და ოქსიდების აღდგენის ტემპერატურაზე, ამ შემთხვევაში ღუმელში დაგროვდება დიდი რაოდენობის გამდნარი კაზმი, ხოლო აღდგენის და წილის წარმოქმნის პროცესები მნიშვნელოვნად იქნება ჩამორჩენილი. ელექტროდები იწყებენ მალლა წამოწევას და მაღალი ტემპერატურების კერა გადმონაცვლებს საკერძესთან ახლოს. ამიტომაც აუცილებელია, რომ კაზმის გადნობის ტემპერატურა იყოს ცოტა უფრო დაბალი, ვიდრე აღდგენის და წილის წარმოქმნის ტემპერატურები. მაშინ ქუროში წარმოიქმნება საკმარისი რაოდენობის თხიერი ნაღობი, რომელიც შემდეგ ინტენსიურად და ენერგიულად იწყებს აღდგენას და წილის წარმოქმნას. ამ პირობებში ქუროში საშუალო ტემპერატურას განსაზღვრავს ან ნაღობის აღდგენისათვის აუ-

ცილებელი ტემპერატურა, ან წილის დნობის ტემპერატურა. ნათელია, რომ დნობის პროცესების სწორად წარმართვისათვის, კაზმის დნობის, ალდგენის და წილის დნობის ტემპერატურები მკვეთრად არ უნდა განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან და დნობის სიქარე ახლოს იყოს ალდგენის სიქარესთან. ზოგ შემთხვევებში ასეთი თანხვედრა არ არის და მაშინ კაზმის და წილის დნობის ტემპერატურის გასაზრდელად კაზმში შეჰყავთ სპეციალური დანამატები (მაგნეზიტი და სხვ.), მაგალითად, ნახშირბადიანი ფეროქრომის დნობის დროს. ხოლო პირიქით – ქუროში ტემპერატურის შესამცირებლად კაზმში შეჰყავთ კვარციტი.

ძნელადდნადი ან ადვილდნადი კომპონენტების კაზმში შეყვანა არის ერთ-ერთი საშუალება ქუროში აუცილებელი ტემპერატურის მისაღწევად. არის კიდევ მეორე შესაძლებლობა (თბური), რომელიც მდგომარეობს ღუმელში სითბოს კონცენტრაციის შეცვლაში.

მართლაც, თუ კაზმი ძლიერ ძნელადდნადია, მაშინ აუცილებელია გავზარდოთ კაზმის დენები იმ ანგარიშით, რომ უკვე ღუმელის ზედა ჰორიზონტებზე მიმდინარეობდეს კაზმის ინტენსიური გახურება. რომლის მიღწევაც შესაძლებელია იმ დენებით, რომლებიც მიედინებიან ელექტროდებს შორის და ელექტროდებსა და ღუმელის კედლის ნახშირბადიან ამონაგს შორის. ამისათვის აუცილებელია გავზარდოთ ღუმელის კედლის ნახშირბადოვანი ამონაგის სიმადლე.

თუ საჭიროა გავზარდოთ ტემპერატურა ალდგენითი პროცესების ინტენსიფიკაციისათვის, საჭიროა სითბოს გამოყოფა მაქსიმალურად კონცენტრირებული იყოს ღუმე-

ლის ქვედა ჰორიზონტებში და ღუმელის ზედა ფენებში სითბოს ნაკლები რაოდენობა გვექონდეს. ამისათვის საჭიროა პირიქით, ღუმელის ნახშირბადოვანი ამონაგუს ქვედა ფენის სიმაღლე მაქსიმალურად იყოს შემცირებული და ამით შევამციროთ კაზმში გამავალი დენები.

14. საკაზმე მასალების მომზადება დნობისათვის

ღუმელის წარმადობის გაზრდის და სხვა ყველა ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების ყველაზე ეფექტური საშუალებაა კაზმის წინასწარ მომზადება დნობისათვის. ქარხნების მუშაობის პრაქტიკიდან გამომდინარე მიღებულია, რომ კვარციტის ნატეხის ზომები უნდა იყოს 25-60 მმ-ის ფარგლებში, ხოლო აღმდგენელისა, კოქსწვრილასი 10-25 მმ. აღმდგენელის ფრაქციის შერჩევისას ხელმძღვანელებენ იმ მოსაზრებიდან, რომ მაღალ ტემპერატურამდე ღუმელში ელექტროწინალობის მთავარ მარეგულირებლად გვევლინება აღმდგენელი და რაც უფრო წვრილმარცვლოვანია იგი, მით უფრო მეტია მისი წინაღობა. მაგრამ აღმდგენელის ძალიან დაქუცმაცება (-5მმ) დაუშვებელია, რადგანაც მას მიყვავართ კაზმის აირგანვლადობის შემცირებასთან, მის შეცხოებასთან და შედეგად ამისა ღუმელის მუშაობის გაუარესებასთან.

15. აგლომერაცია

მანგანუმის მადნების ცნობილი მეთოდებით გამდიდრებას მიყვავართ მის დაქუცმაცებამდე. ასე მაგალითად,

გრაფიკული-მაგნიტური გამდიდრების შედეგად ელემენტულობით კონცენტრატს ფრაქციით 0-3 მმ, ხოლო ფლოტო-კონცენტრატის ზომები 0-0,25 მმ-ია. ამასთან ერთად, ფეროშენადნობთა ღუმელების მუშაობის პრაქტიკაში გვიჩვენა, რომ წვრილფრაქციული მასალების გამოყენება იწვევს კაზმის აირგანვლადობის შემცირებას, მის შეცხოებას და ღუმელის მუშაობის გაუარესებას. ამიტომ აუცილებელია ასეთი წვრილმარცვლოვანი მადნების და კონცენტრატების წინასწარ მომზადება მათი დანატროვნების გზით.

მეტალურგიულ მრეწველობაში გამოიყენება დანატროვნების შემდეგი მეთოდები: აგლომერაცია, დაგუნდავება და დაბრიკეტება.

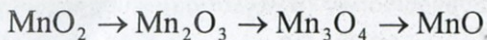
ამ მეთოდებს შორის ყველაზე მეტი გავრცელება ჰპოვა – აგლომერაციამ, რადგანაც იგი არის ყველაზე მაღალმწარმოებლური პროცესი. მაგრამ ეს ხერხი მიზანშეწონილია გამოიყენოთ მხოლოდ ისეთი კონცენტრატებისათვის, რომლის ფრაქციულობაა 0-10 მმ. უფრო წვრილდისპერსიული კონცენტრატებისათვის (ფლოტოკონცენტრატი და ა.შ.) იგი არ გამოიყენება, რადგანაც ამ დროს ხდება შეცხოების პროცესის გაუარესება და შედეგად აგლომერატის წარმადობის მკვეთრი დაცემა.

ფეროშენადნობთა წარმოებაში აგლომერატის გამოყენების პრაქტიკაში გვაჩვენა, რომ იგი არის კარგი ნატროვანი მასალა, რომელიც უზრუნველყოფს ელექტროდების ღრმა მდებარეობას, კარგ აირგანვლადობას და ღუმელის კარგ მუშაობას. მიუხედავად ამისა აგლომერატი არაა ყველაზე კარგი ნატროვანი მასალა, რადგანაც იგი შეიცავს მნიშვნე-

ლოვანი რაოდენობით, მანგანუმის სილიკატებს საიდანაც მანგანუმის აღდგენა გაძნელებულია. გარდა ამისა აგლომერატში შეუძლებელია ყველა საჭირო საკაზმე კომპონენტის შეცხოვა (შესაძლებელია მხოლოდ აფლუსებულ აგლომერატის მიღება). აგლომერატის გამოყენების დროს საკაზმე კომპონენტების რაოდენობა იგივე რჩება, რაც ჩვეულებრივი კაზმის გამოყენებისას, რაც თავისთავად იწვევს კაზმის სეგრეგაციას ბუნკერებში და ლუმელში.

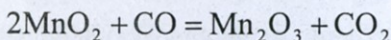
სააგლომერაციო კაზმი შედგება ერთიდაიგივე ან სხვადასხვა ხარისხის მანგანუმის კონცენტრებისაგან, მდნობისაგან (კირქვა ან დოლომიტი), მყარი აღმდგენლისაგან (კოქსწვრილა ანტრაციტის ფხვნილი და სხვა) და ე.წ. ნაბრუნისაგან. მანგანუმის კონცენტრატების ფრაქციულობა უნდა იყოს 10(8)-0 მმ ზღვრებში. აღმდგენელის ზომები უნდა იყოს 4-0 მმ ზღვრებში და მისი რაოდენობა წონით, განისაზღვრება 5-9%-ის ფარგლებში. ნაბრუნი აგლომერატში შეჰყავთ კაზმის გაფხვიერებისა და აირგანვლადობის გაზრდისათვის.

შეცხოვის პროცესის განხორციელებისათვის საჭირო სითბო მიიღება კაზმში შეყვანილი მყარი სათბობის (კოქსის) წვის შედეგად. მათი წვრილი ნაწილაკები განაწილებულია სააგლომერაციო კაზმის მთელ მოცულებაში და გააჩნიათ დიდი რეაქციისუნარიანი ზედაპირი. აგლომერატის გახურების, შეცხოვის და გაგრილების ზონებში მიმდინარეობს მადნის ოქსიდების დისოციაციის და აღდგენის რეაქციები:

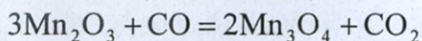


აგლომერაციის ტემპერატურებზე (1200-1500°C) მყარი სათბობის წვის ზონებში, ნახშირუხანგი წარმოადგენს მრავალტიკულად ერთადერთ პროდუქტს. მიუხედავად იმისა, რომ პროცესი მიმდინარეობს ჰაერის ჭარბი რაოდენობის შეწოვის პირობებში, რაც მთლიანობაში პროცესს ანიჭებს დამუხანგველ ხასიათს, მიკრომოცულობებში მაინც აღდგენითი ატმოსფერო ყალიბდება. ამრიგად, თერმული დისოციაციის პროცესების პარალელურად შეცხოების დროს მყარი სათბობის წვის ზონაში ხდება მანგანუმის ოქსიდების აღდგენა, როგორც ნახშირუხანგით ასევე მყარი ნახშირბადით.

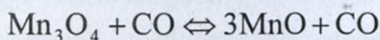
მანგანუმის ზეუხანგი ნახშირუხანგით აღვილად აღდგება ბრაუნიტამდე რეაქციით:



ბრაუნიტის აღდგენა ნახშირუხანგით მიმდინარეობს აღდგენელის თითქმის სრული რაოდენობის გამოყენებით რეაქციით:

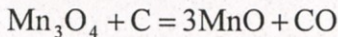


Mn_3O_4 -ის MnO -მდე აღდგენის პროცესი ატარებს შექცევად ხასიათს და გამოისახება რეაქციით:

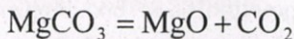
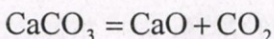


მანგანუმის ქვეუხანგი (MnO) განეკუთვნება ძნელად აღდგენად ოქსიდებს და ნახშირუხანგით იგი არ აღდგება არა მარტო აგლომერაციის პროცესში, არამედ ელექტროლუმელებში ფეროშენადნობების მიღების დროსაც.

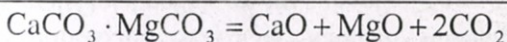
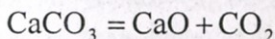
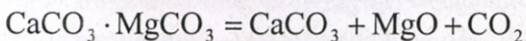
Mn_2O_3 და Mn_3O_4 -ის MnO -მდე აღდგენა მიმდინარეობს ოქსიდების დისოციაციის პარალელურად, შემთხვევით მოყვანილი სქემის მიხედვით, ან Mn_3O_4 -ის უშუალოდ ნახშირბადით აღდგენის რეაქციით:



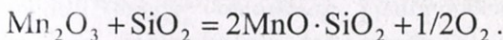
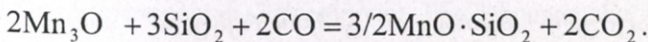
აგლომერაციის პროცესში, მისი გახურების და წვის ზონებში მიმდინარეობს კაზმში შეყვანილი მდნობი დანამატების კარბონატების დაშლის რეაქციები:



დოლომიტის დაშლა მიმდინარეობს ორ სტადიად შემდეგი სქემის მიხედვით:



შეცხოვის დროს კოქსის წვის და მის მიმდებარე ქვედა ფენებში დეჰიდრატაციის, დეკარბონიზაციის და აღდგენის პროცესების გარდა, კაზმის კომპონენტებს შორის მიმდინარეობს ქიმიური ურთიერთქმედება, გაუსმანიტსა (ან ბრაუნიტსა) და კაზმის SiO_2 შორის, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მანგანუმის სილიკატები:



სწორედ მანგანუმის სილიკატები წარმოადგენენ აგლომერატში შემაკავშირებელ-მაცემენტირებელ კომპონენტს.

როგორც ვხედავთ, აგლომერაციის პროცესს თან ახლავს რთული ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნები, რომლებსაც აქვთ გადამწყვეტი მნიშვნელობა აგლომერატის ფაზურ შედგენილობაზე და მისი სტრუქტურის ფორმირებაზე.

1.6. ღაბუნღავება

წვრილმარცვლოვანი მადნების (კონცენტრატების), ნარჩენების და სხვა საკაზმე მასალების დანაჭროვნების ერთ-ერთი გავრცელებული და ეფექტური ხერხია მათი დაგუნდავება. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ არეული კაზმი მიეწოდება მბრუნავ თეფშისებერ გრანულატორს, სადაც ამავე დროს გაფრქვევით მიეწოდება შემკვრელი (სულფიდური ბარდის წყალხსნარი, თხევადი მინა და სხვა). მიღებულ ნედლ გუნდებს გამოაშრობენ დაახლოებით 150°C ტემპერატურაზე, ან გამოწვავენ 1200°C ტემპერატურაზე. დადგენილია, რომ დაგუნდავების პროცესი კარგად მიდის იმ შემთხვევაში, როდესაც საკაზმე მასალების ფრაქციულობაა 0,5-0 მმ და რომელშიდაც ფრაქცია 0,07 მმ არის არანაკლები 40-50%. ეს მეთოდი, როგორც ვხედავთ გამოიყენება მხოლოდ წვრილდისპერსიული მასალებისათვის (ფლოტოკონცენტრატები, ასპირაციული მტვერი, კოქსის ანაცერი და სხვა). გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებული კონცენტრატებისათვის, რომლებსაც გააჩნიათ უფრო მსხვილი მარცვლები, ეს მეთოდი დანაჭროვნებისა არ გამოდგება. მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მიღებამ, კაზმში გუნდების გამოყენებით, გვიჩვენა, რომ იგი არის კარგი ნაჭროვანი მასალა.

მისი გამოყენება უზრუნველყოფს კაზმის კარგ აირგან-
ვლადობას, აქვს საკმარისი მექანიკური სიმტკიცე და საშუ-
ალებას გვაძლევს გავზარდოთ, გამდიდრების დროს მეთოდ-
ების შედეგად წარმოებული, წვრილმარცვლოვანი კონც-
ენტრატების და ნარჩენების გამოყენება.

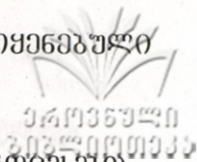
1.7. დაბრიკეტიზაცია

უკანასკნელ წლებში დიდ ინტერესს იწვევს მანგანუ-
მის კონცენტრატების დანაჭროვნება დაბრიკეტების მეთო-
დით. ასეთი ინტერესი გამოწვეულია იმით, რომ ამ მე-
თოდს სხვასთან შედარებით (აგლომერაცია, დაგუნდავება)
გააჩნია რიგი უპირატესობები. ჯერ ერთი – დასაბრიკეტე-
ბელი კაზმის ფრაქციულობა, დასაგუნდავებელ კაზმთან
შედარებით, შეზღუდული არაა, გამოიყენება 5-0 მმ მასა-
ლები. მეორე – დასაბრიკეტებელ კაზმში შეიძლება შევი-
ყვანოთ დნობისათვის საჭირო ყველა კომპონენტი, რაც
საბოლოოდ აგვაცილებს ღუმელში კაზმის სეგრეგაციას
(რაც ხშირად ხდება ჩვეულებრივი კაზმის ან აგლომერა-
ტის გამოყენების დროს) და მკვეთრად ზრდის ადდგენითი
პროცესების მიმდინარეობის სიღრმეს და სიჩქარეს.

ფეროშენადნობთა წარმოებაში ბრიკეტების გამოყენე-
ბის შესაძლებლობაზე და მის უპირატესობაზე, დანაჭროვ-
ნების სხვა მეთოდებთან შედარებით, მნიშვნელოვანი სამეც-
ნიერო-კვლევითი და პრაქტიკული სამუშაოებია ჩატარე-
ბული სტუ-ს შავი ლითონების მეტალურგიის კათედრაზე
და საპრობლემო ლაბორატორიაში პროფ. ა. ხვიჩიას
ხელმძღვანელობით. დადგენილ იქნა მადნების და სხვა

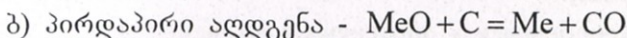
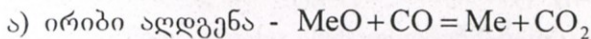
საკაზმე მასალების დაბრიკეტების ოპტიმალური პარამეტრები (დასაბრიკეტებელი მასალების ეფრაქტული შედგენილობის, სინესტის, შემკვრელის რაოდენობის, დაწნეხვის ძალის, გამოშრობის ტემპერატურის და სხვა, გავლენა ბრიკეტების სიმტკიცეზე). პირველად აქ შემუშავდა ე.წ. მონოკაზმის ბრიკეტების მიღების ტექნოლოგია, რამაც საშუალება მოგვცა გამოგვეყენებინა არა მარტო წვრილმარცვლოვანი კონცენტრატები, არამედ წარმოების ნარჩენები (მტვერი, გრანულირებული წიდეები, კოქსის ანაცერი და სხვა) და აღმდგენელად დეფიციტური კოქსი შეგვეცვალა ადგილობრივი ნახშირებით. აღნიშნული ტექნოლოგიის ბაზაზე ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში აშენებული იქნა ბრიკეტ-ფაბრიკა, რამაც თვალნათლივ დაგვანახა დანაჭროვნების ამ მეთოდის ტექნიკური, ტექნოლოგიური და ტექნიკო-ეკონომიკური უპირატესობა დაგუნდავებასთან და აგლომერაციასთან შედარებით.

თავი 2. ფეროშენადნობთა წარმოებაში გამოყენებული
ალუმინუმების ღახასიათება

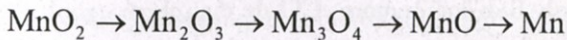


2.1. ნახშირბადით ალუმენა (ნახშირბადალუმენითი პროცესები)

არსებობს ნახშირბადით აღდგენითი პროცესების ორი ტიპი:

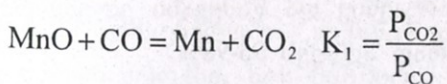


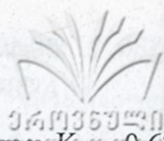
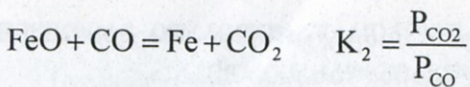
ფეროშენადნობების მიღებისას ირიბი აღდგენა არ თამაშობს გადამწყვეტ როლს, როგორც რკინის აღდგენის შემთხვევაში და ადგილი აქვს მხოლოდ მაღალი ოქსიდების დაბალ ოქსიდებამდე აღდგენის დროს. მაგალითად, ფერომანგანუმის გამოდნობის დროს ოქსიდების აღდგენა მიმდინარეობს საფეხურებით:



მაღალი ოქსიდები MnO_2 , Mn_2O_3 და Mn_3O_4 შესაძლებელია აღდგენილ იქნას ირიბი გზით CO -ს საშუალებით, რომელიც გამოიყოფა ღუმელში საკერძე აირებით უკვე ღუმელის ზედა ჰორიზონტებში. რაც შეეხება MnO , იგი შესაძლებელია აღდგეს მხოლოდ პირდაპირი გზით ნახშირბადის საშუალებით მაღალ ტემპერატურებში.

შევადართო FeO -ს და MnO -ს ირიბი გზით აღდგენის პირობები:



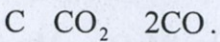


1000⁰K ტემპურატურაზე $K_1 = 7 \cdot 10^{-7}$, ხოლო $K_2 = 0,624$ ე.ი. FeO-ს აღდგენისას აირად ფაზაში CO-ს და CO₂-ს წონასწორული რაოდენობა ტოლია:

$$\text{CO}_{\text{წონასწ.}} = 61,5\%$$

$$\text{CO}_{2\text{წონასწ.}} = 38,5\%$$

MnO-ს აღდგენისას კი CO-ს წონასწორული რაოდენობა აღწევს თითქმის 100% (99,997%) და შესაბამისად $\text{CO}_2 = 7 \cdot 10^{-6}\%$. გასაგებია, რომ ფერომანგანუმის მისაღები ღუმელების საკერძე აირებში, როდესაც CO-ს შემცველობა 65-80% MnO-ს ირიბი აღდგენა შეუძლებელია. მიუხედავად ამისა აღდგენა მიმდინარეობს აირად ფაზაში აღდგენელის ნახშირბადით CO-ს რეგენერაციის პირობებში:



2.2. ნახშირბადის, როგორც აღმდგენელის თავისებურება

1. აღდგენის პროცესის მიმდინარეობის დროს, მისი ერთ-ერთი პროდუქტი CO აირის სახით, ყოველთვის გამოიყოფა ღუმელიდან, რის შედეგადაც $\text{MeO} + \text{C} = \text{Me} + \text{CO}$ რეაქციის წონასწორობა მუდმივად ირღვევა, აღდგენის პროცესი მიდის შორს მარჯვნივ და წამყვანი ელემენტის აღდგენის ხარისხი ხშირად აღწევს 95-98%.

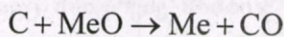
2. ნახშირბადის სწრაფვა ჟანგბადთან ტემპერატურის ზრადსთან ერთად იზრდება, რაც საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ სხვადასხვა ძნელად აღსადგენი ოქსიდები.

3. ოქსიდების ნახშირბადით აღდგენის დროს ხდება კარბიდების წარმოქმნა (SiC , Mn_7C_3 და სხვა), რის შედეგადაც მიღებული შენადნობები ყოველთვის შეიცავენ ნახშირბადის მაღალ პროცენტს. ამიტომაც უნახშირბადო და დაბალნახშირბადიანი შენადნობების მისაღებად ნახშირბადის აღმდგენელად გამოყენება შეუძლებელია.

4. ოქსიდების ნახშირბადით აღდგენის პროცესი ენდოთერმულია, ამიტომ ფეროშენადნობების მისაღებად აუცილებელია ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი რაოდენობით დახარჯვა.

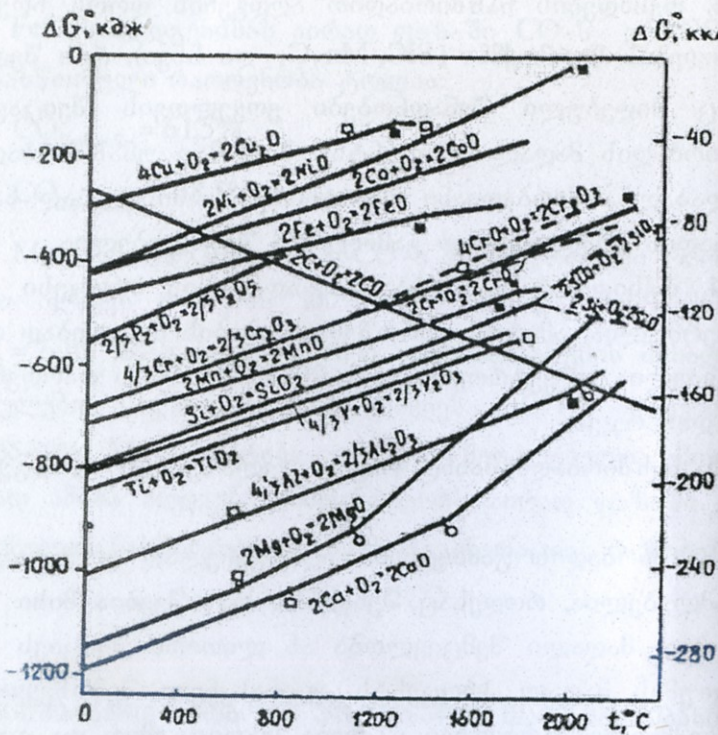
5. ნახშირბადი მაინც რჩება ყველაზე იაფ აღმდგენელად.

ნახშირბადის გამოყენება აღმდგენელად ყოველთვის შესაძლებელია, როდესაც შენადნოში დასაშვებია მისი შედარებით მაღალი შემცველობა ან ლითონი შეიცავს სილიციუმის მაღალ პროცენტს. უკანასკნელ შემთხვევაში, წარმოქმნილი კარბიდები იშლება სილიციუმით და თავისუფალი ნახშირბადი იხარჯება ოქსიდების აღდგენაზე:



ფეროშენადნობთა წარმოების განვითარების პროცესში გამოცდილ იქნა და გამოიყენება მრავალგვარი ნახშირბადიანი აღმდგენელები: კოქსწვრილა, დაყალიბებული კოქსი, ნახევრადკოქსი, ხის ნახშირი, ანტრაციტი, ქვანახშირი, ნავთობის კოქსი, ტორიფის კოქსი, ნახერხი და

სხვა. ყველა ეს მასალები თავისი თვისებებით ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.



ნახ. 2. ელემენტებიდან ოქსიდების წარმოქმნის რეაქციებისათვის ჯიბის ენერჯის ცვლილების (ΔG^0) დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

□ და ■ - ლითონის და მისი ოქსიდების დნობის წერტილები;
○ - ლითონის დუდილის (აორთქლების) წერტილი.

ნახშირბადშემცველი აღმდგენლების დახასიათება



მაჩვენებელი	მეტალურგიული კოქსი	კოქსწერილა	ნახვერად კოქსი	ნავთობის კოქსი	ხის ნახშირბადი
შემადგენლობა ტექნიკური ანალიზით, %:					
ნაცარი, A	10,65	10,80	27,0	0,71	1,45
აქროლადები, V	1,44	1,20	5,60	8,08	14,54
სინესტუ, W	0,44	1,30	1,90	0,80	2,10
გოგირდი S	0,89	1,34	0,91	4,23	0,04
მყარი ნახშირბადი	87,02	86,66	71,49	86,98	83,97
რეაქციის უნარიანობა 1323K, მლ/გ.წმ	0,69	0,92	8,0	0,42	11,1
ხვედრითი ელ. წინაღობა, 10 ⁻² ომი. მ.	0,0121	0,0148	75,0	3·10 ⁶	2·10 ⁶
სტრუქტურული სიმტკიცე, %	83,0	85,0	63,7	64,3	39,0
სიმკვრივე, 10 ³ კგ/მ ³ :	1,82	1,95	1,58	1,41	1,40
ჭეშმარიტი	0,91	0,93	0,93	1,12	0,40
მონეუნებითი	53,1	49,7	55,0	21,1	63,8
ფორიანობა, % (სმ ³ /გ)	0,49	0,51	0,67	0,18	1,1
ნაცრის ქიმიური შედგენილობა, %					
SiO ₂	35,4	36,5	75,7	46,3	1,90
Al ₂ O ₃	23,3	22,2	11,2	24,3	3,40
CaO+MgO	3,8	3,9	3,0	10,5	41,1
Fe ₂ O ₃	33,8	33,7	7,6	14,2	0,85
P ₂ O ₅	0,24	0,24	0,03	0,75	5,12
K ₂ O+Na ₂ O	2,13	2,64	1,18	0,13	0,29

კოქსწერილა - არის ქვანახშირებიდან მეტალურ-გოგირდი კოქსის წარმოების პროცესში წარმოქმნილი თანამდგევი პროდუქტი. იგი არის ყველაზე გავრცელებული

და იაფი აღმდგენელი. იგი გამოიყენება ყველა პროცესებში, სადაც დასაშვებია მაღალნაცრიანი აღმდგენელის გამოყენება (მისი ნაცრიანობაა 10-12%) კოქსწვრილას ხარისხი, მისი ელექტროწინაღობა, ფორიანობა, ქიმიური აქტივობა ძალიან იცვლება ქვანახშირის ხარისხის და დაკოქსების რეჟიმთან დამოკიდებულებით. იგი შეიცავს დიდი რაოდენობით წვრილ ფრაქციას (-5 მმ) რაც აუცილებლად უნდა გამოიცრას.

ნახევრადკოქსი - მიიღება არაკოქსვადი გრძელა-ლიანი ნახშირებიდან და იგი უკეთესი აღმდგენელია ვიდრე კოქსწვრილა. მისი ხვედრითი ელექტროწინაღობა შედარებით დაბალ ტემპერატურებში, თითქმის ორჯერ მეტია ვიდრე სხვა სახის კოქსებისა. მაგრამ გახურების კვალობაზე მისი წინაღობა მკვეთრად ეცემა და ჩვეულებრივი ხარისხის კოქსწვრილას წინაღობას უტოლდება. ქიმიური აქტივობა კი, კოქსწვრილასთან შედარებით მას უფრო მაღალი აქვს.

დაყალიბებული კოქსი. კოქსწვრილა და სხვა სახის კოქსები შედგენილობის და თვისებების მიხედვით საკმაოდ არაერთგვაროვანია და შეიცავენ დიდი რაოდენობით წვრილ ფრაქციას. ამიტომ ღუმელის სტაბილური მუშაობისათვის სასურველია გვექონდეს შედგენილობით და გაბარიტული ზომებით ერთგვაროვანი მასალები. ასეთ მასალას წარმოადგენს წინასწარ ფორმა მიცემული (ბურთულა, დისკო და სხვა) კოქსი. იგი შეიცავს მცირე რაოდენობის წვრილ ფრაქციას და გამოირჩევა მაღალი ელექტროწინაღობით.

ანტრაციტი - მკვრივი დაბალნაცრიანი ნახშირბად-
შემცველი მასალაა. აქვს დაბალი ელექტროწინაღობა და
ქიმიური აქტივობა. მაღალ ტემპერატურებში იმსხვრევა.
ფეროშენადნობთა წარმოებაში იგი გამოიყენება სხვა
აღმდგენელებთან (ხის ნახშირთან) ერთად.

ქვანახშირები - მათ აქვთ მნიშვნელოვნად მაღალი
ელექტროწინაღობა ვიდრე სხვა აღმდგენელებს, მაგრამ
შეიცავენ დიდი რაოდენობით აქროლად და ფისისებრ
ნივთიერებებს, რაც ხელს უშლის ღუმელის ნორმალურ
მუშაობას. მათ ფეროშენადნობთა წარმოებაში ჯერ გამო-
ყენება ვერ პოვის.

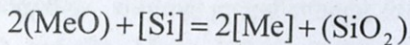
ხის ნახშირი - არის ყველაზე უკეთესი აღმდგენელი.
მას აქვს მაღალი ელექტროწინაღობა, ფორიანობა, მაღა-
ლი ქიმიური აქტივობა და მცირე ნაცრიანობა. მიუხედა-
ვად ამ დიდი უპირატესობისა სხვა აღმდგენელებთან შე-
დარებით, იგი შეზღუდულად გამოიყენება მისი სიძვირის
გამო. მას მხოლოდ იმ შემთხვევებში იყენებენ, როდესაც
საჭიროა დიდი ქიმიური აქტივობის და მცირენაცრიანი
აღმდგენელი. მაგალითად, კრისტალური სილიციუმის,
სილიკოკალციუმის და 90% ფეროსილიციუმის მისაღებად.

ნავთობის კოქსი - ესაა ნავთობის გამოხდის შედეგად
დარჩენილი ნარჩენების დაკოქსების პროდუქტი. ისინი
მცირე რაოდენობით შეიცავენ ნაცარს და აქროლადებს.
აქვთ საკმაოდ მაღალი ფორიანობა და ქიმიური აქტივობა.
სიძვირის გამო მისი გამოყენება შეზღუდულია. იგი სხვა
აღმდგენელებთან ნარევი გამოიყენება, როდესაც საჭიროა
მინარევებისაგან სუფთა შენადნობების მიღება (მაგალი-
თად კრისტალური სილიციუმის მისაღებად).

ხის ნახერხი უკანასკნელ ხანებში ზოგ ფეროშენადნობთა ქარხნებში, ღუმელის ელექტროწინალობის და აირგანვლადობის გაზრდის მიზნით, დაიწვეს მისი გამოყენება. გასაგებია, რომ ასეთი მასალების გამოყენება წარმოებაში არის მეორეხარისხოვანი.

2.3. ოქსიდების სილიციუმით აღდგენა (სილიკოთერმული პროცესები)

ოქსიდების სილიციუმით აღდგენა ხდება შემდეგი რეაქციით:

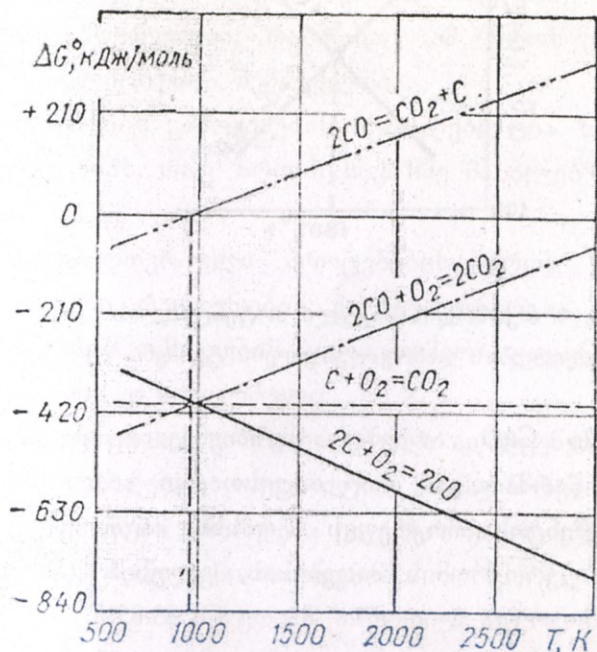
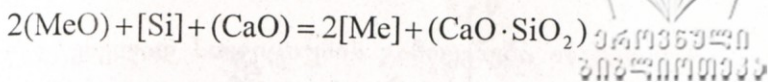


$$K = \frac{(\text{SiO}_2)[\text{Me}]^2}{(\text{MeO})^2[\text{Si}]}$$

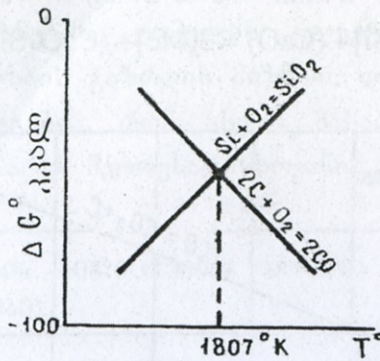
ასეთი პროცესების დროს შესაბამისი ზომების მიღების გარეშე (ფლუსების საშუალებით SiO_2 აქტივობის შემცირება) აღდგენის რეაქცია მალე აღწევს წონასწორობას, რის შედეგადაც წამყვანი ელემენტის აღდგენის ხარისხი ძალიან მცირეა. მაგალითად, დაბალნახშირბადიანი ფეროქრომის უფლუსო მეთოდით დნობისას ქრომის აღდგენის ხარისხი კაზმიდან და მისი გადასვლა ლითონში შეადგენს 55-60%, ხოლო ქრომის უანგის შემცველობა წიდაში აღწევს 35%.

ნათელია, რომ ლითონის (Me) მაღალი რაოდენობით აღსადგენად აუცილებელია SiO_2 -ის აქტიურობის შემცირება, რაც შესაძლებელია მიღწეულ იქნას კაზმში კირის (CaO) შეყვანით. ამ შემთხვევაში პროცესის ჯამური

რეაქცია შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:



ნახ. 3. C-O სისტემის ურთიერთქმედების რეაქციებში
ჯიბსის ენერჯიის ცვალეობობის (ΔG^0) დამოკიდებულება
ტემპერატურაზე



ნახ. 4. თერმოდინამიკული პოტენციალის (ΔG°) ცვლილების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

წიდაში CaO არსებობა უზრუნველყოფს რეაქციის მარჯვნივ წარმართვას, რაც თავისთავად ზრდის სასარგებლო ელემენტის ამოკრევის ხარისხს. მაგალითად, უნახ-შირბადო ფეროქრომის მიღებისას, ფლუსის გამოყენებით ქრომის ამოკრევა ლითონში შეადგენს 83-85%.

სილიციუმი, როგორც აღმდგენელი ჩვეულებრივად სუფთა სახით არ გამოიყენება. იგი გამოიყენება სხვადასხვა ელემენტებთან შენადნის სახით. ასეთი შენადნობებია სილიკომანგანუმი, სილიკოქრომი, ფეროსილიციუმი.

2.4. სილიციუმის, როგორც აღმდგენელის თავისებურება

1. დიდი სწრაფვა ჟანგბადისადმი, რის გამოც სილიციუმი სხვადასხვა ოქსიდებისათვის შეიძლება იყოს როგორც აღმდგენელი (MnO , Cr_2O_3 , MoO_3 და სხვ).

2. უნახშირბადო ფეროშენადნობების მიღების შესაძლებლობა.

3. აღმდგენელად სილიციუმის გამოყენება იწვევს ლითონის სილიციდების წარმოქმნას, რაც რიგ შემთხვევებში არასასურველია, რადგანაც ამ დროს ლითონში იზრდება სილიციუმის შემცველობა.

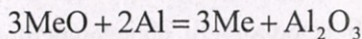
4. ფლუსების გამოყენების აუცილებლობა ზრდის წილის ჯერადობას, რაც ზრდის საკაზმე მასალებზე დანახარჯებს.

5. სილიკოთერმული პროცესების დროს იხარჯება საკმაოდ დიდი რაოდენობის ელექტროენერგია, მიუხედავად იმისა, რომ ოქსიდების სილიციუმით აღდგენა, სუფთა ფაზებში, არის ეგზოთერმული.

6. სილიციუმი - ძვირადღირებული აღმდგენელია, რადგანაც მის მისაღებად სპეციალური შენადნობების სახით ცალკე ღუმელებში, იხარჯება ელექტროენერგიის და ნედლეულის მნიშვნელოვანი რაოდენობა.

2.5. ოქსიდების ალუმინით აღდგენა (ალუმოთერმული პროცესები)

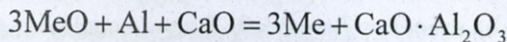
ოქსიდების ალუმინით აღდგენა ზოგადი სახით შეიძლება გამოისახოს შემდეგი რეაქციით:



$$K = \frac{(\text{Al}_2\text{O}_3)[\text{Me}]^3}{(\text{MeO})^3 \cdot [\text{Al}]^2}; \quad [\text{Me}]^3 = \frac{K \cdot (\text{MeO})^3 [\text{Al}]^3}{(\text{Al}_2\text{O}_3)}$$

ამ შემთხვევაშიც, როგორ სილიკოთერმული პროცესების დროს, ლითონის აღდგენის მაღალი ხარისხის მისაღწევად, აუცილებელია Al_2O_3 -ის აქტივობის შემცირება, რისთვისაც იყენებენ კირს. CaO კრავს Al_2O_3 კალციუმის ალუმინატად, რაც თავისთავად უზრუნველყოფს რეაქციის მარჯვნივ წარმართვას და სასარგებლო ელემენტის ამოკრეფის მაღალ ხარისხს.

ფლუის გამოყენების შემთხვევაში ოქსიდების ალუმინით აღდგენის რეაქცია შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:



ალუმოთერმული პროცესები, ჩვეულებრივად, კერებში მიმდინარეობს. ალუმინი წვრილი მარცვლების (0-3 მმ) სახით გამოიყენება. ასეთ მარცვლებს ღებულობენ გამდნარი ალუმინის შეკუმშულ ჰაერთან ან ორთქლთან გაფრქვევის გზით. იშვიათად ალუმინს წინასწარ გაადნობენ ელექტროლუმელებში, შემდეგ კი მის ზედაპირზე კაზმს მიაწვდიან.

2.6. ალუმინის, როგორც აღმდგენელის თავისებურებანი

1. დიდი სწრაფვა უანგბადისადმი, რაც საშუალებას იძლევა, რომ მან აღადგინოს ძნელად აღსადგენი ოქსიდები.

ალუმინის სწრაფვა უანგბადისადმი, მაღალ ტემპერატურებში ($1400-2000^{\circ}C$) შესამჩნევად მაღალია ვიდრე სილიციუმის და ნახშირბადის.

2. ოქსიდის ალდგენის პრდუქტი - Al_2O_3 რჩება წი-
დაში, ამიტომაც მისი აქტიურობის შესამცირებლად საჭი-
როა ფლუსი, რასაც თავისთავად წიდეების ჯერადობის
გაზრდისაკენ მივყავართ.

3. ალუმინი არის ყველაზე ძვირადღირებული ალმდგე-
ნელი. მართლაც, 1 კგ მოლეკულა ჟაგბადისათვის საჭი-
როა 24 კგ ნახშირბადი, 28 კგ სილიციუმში და 36 კგ.
ალუმინი. ფასებთან მიმართებაში, თუ 24 კილოგრამი ნახ-
შირბადი ღირს 1 პირობითი დოლარი, მაშინ 28 კგ
სილიციუმი ღირს 8 პირობითი დოლარი, ხოლო 36 კგ
ალუმინი კი ღირს 19 პირობითი დოლარი.

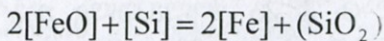
ალუმინის მაღალი ფასის გამო მას იყენებენ მხოლოდ
ძნელად აღსადგენი ოქსიდების აღსადგენად და კიდევ მა-
შინ, როდესაც აუცილებელია უნახშირბადო შენადნობების
მიღება.

თავი 3. კრისტალური სილიციუმის და ფეროსილიციუმის მიღება



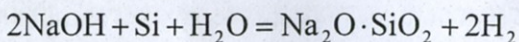
საქართველოს
აკადემიის

სილიციუმის ჟანგბადთან დიდი სწრაფვესი უწყვეტი
შენადნობები ფართოდ გამოიყენებიან ფოლადების გან-
ჟანგვისათვის, შემდეგი რეაქციით:



სილიციუმის დიდი რაოდენობა გამოიყენება, აგრეთვე
ფოლადების ლეგირებისათვის. 1,3-2% სილიციუმი ფოლა-
დებში ზრდის მისი დენადობის ზღვარს, ხოლო 2,4-4%
სილიციუმი ფოლადებში ნახშირბადის დაბალი შემცვე-
ლობის დროს (0,1%) (სატრანსფორმატორო, სადინამო
ფოლადები), უზრუნველყოფს დაბალ ნარჩენ მაგნიტიზმს
და ვაჭურ დანაკარგებს.

ფერად მეტალურგიაში სილიციუმი გამოიყენება სი-
ლიციუმიანი ბრინჯაოს (5% Si), თითბერის, სილუმინის
(11% Si და 89% Al) და სხვა ლიგატურების მისაღებად.
განსაკუთრებით მაღალი სისუფთავის სილიციუმი გამოი-
ყენება ქიმიურ და ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში (ნა-
ხევარგამტარების მისაღებად). სილიციუმს აგრეთვე იყენე-
ბენ წყალბადის მისაღებად, შემდეგი რეაქციით:



იგი აგრეთვე გამოიყენება მადნების გამდიდრების
დროს მძიმე სუსპენზიების მისაღებად, როგორც დამამძი-
მებელი.

საშუალოდ, ყოველ გამომდნარ ტონა ფოლადზე იხ-
არჯება 7 კგ 45%-იანი ფეროსილიციუმი. ფეროშენადნობ-

თა მთელი წარმოების 60% მოდის სილიციუმის შენადნობების გამოდნობაზე.

დაბალსილიციუმის (9% Si) ფეროსილიციუმის გარეკეული ნაწილი, ჯერჯერობით იწარმოება ბრძანებში. ახლო მომავალში ეს პროცესი მოლიანად ელექტროლუმელებში გადაინაცვლებს.

ფეროსილიციუმის მარკები და შედგენილობა

შენადნის მარკა	შედგენილობა, %							
	Si	Mn	Cr	P	S	Al	Ca	C
ΦC90	85-95	0,2	0,2	0,03	0,02	3,0	1,0	-
ΦC75	74-80	0,3	0,2	0,05	0,02	2,5	1,0	0,1
ΦC65	63-68	0,4	0,4	0,05	0,03	2,0	-	0,2
ΦC45	41-47	0,6	0,6	0,05	0,03	2,0	-	0,4
ΦC25	23-27	0,9	0,9	0,06	0,03	1,0	-	0,6
ΦC18	17-22	1,0	1,0	0,10	0,04	1,0	-	1,0

კრისტალური სილიციუმის მარკები და შედგენილობა

შენადნის მარკა	შედგენილობა, %				
	Si	Fe	Al	Ca	მინარეგები
Kp 00	99,0	0,4	0,4	0,4	1,0
Kp0	98,8	0,5	0,6	0,4	1,2
Kp1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Kp2	97,0	1,0	1,2	0,8	2,0
Kp3	96	1,5	1,5	1,5	4,0

სილიციუმის შენადნობების შედგენილობა ლიმიტირებულია საერთაშორისო სტანდარტებით. ცხრილებში მოცემულია ფეროსილიციუმის და კრისტალური სილიციუმის მარკები და შედგენილობა.

3.1. სილიციუმის და მისი ნაერთების ფიზიკო-ქიმიური თვისებები

დედამიწის ქერქში, გავრცელების მიხედვით (27%), სილიციუმს (კაუბადს) მეორე ადგილი უჭირავს ჟანგბადის შემდეგ. ბუნებაში იგი ძირითადად გვხვდება ჟანგბადანერთების სახით (კვარცი, სილიკატები, ალუმოსილიკატები, ჰიდრატები და ა.შ).

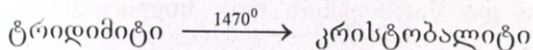
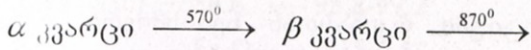
სილიციუმი-არალითონია, მაგრამ აქვს ლითონური ბზინვარება. იგი ძალიან მაგარი და მყიფეა. მისი ფიზიკო-ქიმიური თვისებები შემდეგია:

ატომური მასა -----	28,09
სიმკვრივე 20 ⁰ -----	2370 კგ/მ ³
ვალენტობა -----	2,4
დნობის ტემპერატურა -----	1413 ⁰ C
დუღილის ტემპერატურა ---	2305-2617 ⁰ C

სილიციუმი არსებობს ორი ალოტროპიული ფორმით: 1. ამორფული - შავი ფერის, არ ატარებს ელექტროდენს; 2. კრისტალური-ფოლადისფერი, ატარებს ელ. დენს.

სილიციუმს გააჩნია დიდი სწრაფვა ჟანგბადისადმი და მასთან წარმოქმნის მყარ და მდგრად ოქსიდს - SiO₂ და მაღალტემპერატურულ, არამდგრად ფორმას - SiO (სილიციუმის მონოოქსიდი).

კაჟმიწა (SiO_2) - არსებობს ამორფულ და კრისტალურ მდგომარეობაში. გახურებისას ამორფული კაჟმიწა გადადის კრისტალურში. კრისტალური კაჟმიწა არსებობს სამი მოდიფიკაციის სახით: კვარცი, ტრიდიმიტი, კრისტობალიტი. ერთი ფორმა მეორეში გადადის შემდეგ ტემპერატურებში:

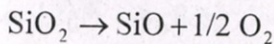


კრისტობალიტი მდგრადია 1713°C -მდე.

SiO_2 -ის დნობის ტემპერატურა 1713°C .

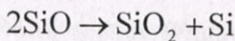
ღულილის ტემპერატურა კი - 2800°C .

მაღალ ტემპერატურებში (1800-2200) კაჟმიწა დისოცირდება:



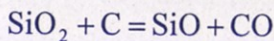
ამრიგად, კაჟმიწის ორთქლის ძირითადი მდგენელია სილიციუმის მონოოქსიდი და ჟანგბადი.

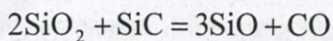
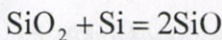
სილიციუმის მონოოქსიდის (SiO) თვისებები საბოლოოდ შესწავლილი არაა. დადასტურებულია, რომ SiO რუხი ფერის ინდივიდუალური ნაერთია და არა Si და SiO_2 -ის ნარევი. სუფთა SiO მდგრადია ვიწრო ტემპერატურულ ინტერვალში $1785\text{-}1848\text{K}$, რომელიც გაცივებისას იშლება კაჟმიწად და კაჟბადად:



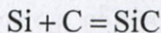
ჭაერზე SiO ადვილად იჟანგება და გადადის SiO_2 .

სილიციუმის მონოოქსიდი შეიძლება მიღებულ იქნას, როგორც დისოციაციით, ასევე ალდგენით:





ნახშირბადთან სილიციუმი წარმოქმნის სილიციუმის კარბიდს.

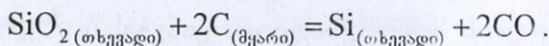


რომელიც 2800°C მთლიანად დისოცირდება.

სილიციუმი რკინასთან ნებისმიერი თანაფარდობით შელღევა და წარმოქმნის რიგ სილიციდებს: FeSi , Fe_5Si_3 , Fe_3Si და სხვა.

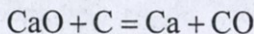
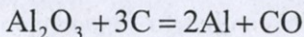
დადგენილია, რომ სილიციუმის აღდგენა SiO_2 -დან მიმდინარეობს შუალედური პროდუქტების – სილიციუმის კარბიდის – SiC და ადვილართქლებადი სილიციუმის მონოოქსიდის – SiO წარმოქმნით.

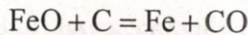
SiO_2 -ის აღდგენის ჯამური რეაქცია 1710-1827°C შეიძლება გამოისახოს:



3.2. კრისტალური სილიციუმის ბამონდობა

როგორც ზემოთ ცხრილში მოყვანილი კრისტალური სილიციუმის შედგენილობიდან ჩანს, მასში რკინის, ალუმინის, კალციუმის მინარევების მინიმალური რაოდენობაა დასაშვები. ეს ელემენტები ღნობის პროცესში აღდგებიან შესაბამისი ოქსიდებიდან შემდეგი რეაქციით:





ზემოთქმულიდან გამომდინარე, კრისტალური სილიციუმის მისაღებად გამოიყენება მაღალი სისუფთავის საკაზმე მასალები. ასეთებია – კვარცი, ხის ნახშირი, ნავთობის ან სქელფისების კოქსები.

საკაზმე მასალების შედგენილობა შემდეგია %:

კვარცი (კვარციტი) – SiO_2	---- 98,8-99,2
Fe_2O_3	---- 0,15-0,57
Al_2O_3	---- 0,03-0,3
CaO	---- 0,1-0,3

ხის ნახშირი	C	ნაცარი	სინესტე	აქროლადები
	71,98	1,77	1,70	1,77
ნავთობის კოქსი	91,94	0,59	1,07	6,40
სქელფისის კოქსი	96,2	1,89	2,05	1,96

ნაცრის შედგენილობა	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	CaO
ხის ნახშირი	8,26	4,18	6,20	10,0	40,43
ნავთობის კოქსი	71,98	16,15	–	2,12	2,0
სქელფისის კოქსი	53,2	14,25	15,26	2,56	5,96

კრისტალური სილიციუმის გამოდნობა ხდება უწყვეტი პროცესით, ნადნობის პერიოდული გამოშვებით. ჩვეულებრივად იყენებენ დაბალი სიმძლავრის 3000 კვა (სამუაზა, მრგვალაბაზანიანი) და 6500 კვა (ერთფაზიანი, ორფაზური, ოვალური აბაზანიანი) ღუმელებს.

ასეთი ღუმელები ამოგებულა ნახშირის ბლოკებით
ფეროსილიციუმის სადნობი ღუმელის ანალოგურად. გა
მოიყენება გრაფიტიზირებული ელექტროდები. უკანასკნელ
ხანებში დაიწყო ამ შენადნის დნობა დიდი სიმძლავრის
16500 კვა ღუმელებში. ამ შემთხვევაში იყენებენ თვითცხობ
ბად ელექტროდებს ან ნახშირის ელექტროდებს რკინის
გარცმის გარეშე. საკაზმე მასალების დნობისათვის მომზა
დება ხდება შემდგენიარად. კვარცი (კვარციტი) იმსხვრევა
ნატეხის ზომებია 15-50 მმ. ხის ნახშირს იყენებენ ნატე
ხოვანს. 10-80 მმ. ნავთობის კოქსს ამსხვრევენ 5-15 მმ ნა
ტეხებად.

სადნობი კაზმის ერთი ულუფის შედგენილობაა:

კვარცი (კვარციტი) - 100 კგ

ნავთობის კოქსი - 23-27 კგ

ხის ნახშირი - 24-30 კგ

შენადნის გამოშვება უწყვეტია, ე.ი. ღუმელის ხვრელი
მუდმივად ღიაა და სილიციუმი წვრილ ნაკადად ჩაედო
ნება თუჯის ბოყეში. ხანდახან ხვრელს კეტავენ ხის ნატე
რით და შემდეგ ხსნიან ელექტრო რკალის მეშვეობით.
ხვრელის მოვლის და გაწმენდის დროს კატეგორიულად
იკრძალება ლითონის ინსტრუმენტების გამოყენება, შენად
ნში რკინის მოხვედრის თავიდან ასაცილებლად.

6500 კვა სიმძლავრის ღუმელის დღედამური წარმა
დობა 11 ტონაა საკაზმე მასალების და ელექტრო ენერჯი
ის ხარჯი 1 ბაზურ ტონა შენადნზე შეადგენს:

კვარციტი - 2872 კგ

ხის ნახშირი - 1423 კგ

ნავთობის კოქსი - 326 კგ

ნახშირის ელექტროდები - 83 კვ

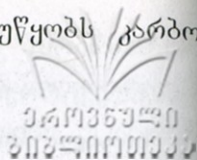
ელექტროენერჯია - 12239 კვტ. სთ

სიცილიუმის აორთქლება საკერძე აირებიდან SiO_2 და Si სახით, აღწევს კაზმში არსებული სილიციუმის 25%.

კრისტალური სილიციუმის მიღება განსაკუთრებით შრომატევადი პროცესია, იგი საჭიროებს მაღალ ტემპერატურებს და თან ახლავს რიგი არასასურველი თავისებურებები, რომელთაგან აღსანიშნავია სილიციუმის კარბიდის წარმოქმნა.

როგორც სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის თერმოდინამიკიდანაა ცნობილი, სილიციუმის კარბიდის წარმოქმნა მიმდინარეობს უფრო დაბალ ტემპერატურებში, ვიდრე სუფთა სილიციუმის მიღება. ღუმელის „ცივი“ ზონებში, განსაკუთრებით ნახშირბადის ჭარბი რაოდენობის დროს, მიმდინარეობს SiC ინტენსიური წარმოქმნა. რის შედეგადაც ღუმელში გროვდება კარბორუნდის წარმონაქმნები და რადგანაც მას აქვს მაღალი ელექტროგამტარობა, ელექტროდები იწვევენ მაღალა, ხდება ღუმელის ქვედის გაცივება, რაც ისევ იწვევს კარბორუნდის წარმოქმნას და დაგროვებას ღუმელის ქვედა ნაწილში. ყოველივე ამის გამო ღუმელის მუშაობის პროცესი არეულია და ხშირად საჭირო ხდება მისი გაჩერება კარბორუნდის გარნისაყის ამოსამტვრევად. ეს ოპერაცია ძალიან რთული პროცესია, რომელსაც მიუყვართ ღუმელის მნიშვნელოვანი დროით ამორთვამდე. ამ მეტად არასასურველ პროცესებს წარმატებით ებრძვიან მბრუნავ აბაზანიანი ღუმელების გამოყენებით. ამ დროს ელექტრული რკალები, რომლებიც ანთია ელექტროდსა და მის ირგვლივ არსებულ ე.წ. ტიგელის კედელს

შორის (ბრუნვის მიმართულებით), ხელს უწყობს კარბო-
რუნდის - SiC დაშლას.



3.3. ფეროსილიციუმის ელემენტოთერმია

ფეროსილიციუმი არის რკინის სილიციუმთან შე-
ნადნი. ფეროსილიციუმის მარკები და შედგენილობა მო-
ცემულია ცხრილში. სილიციუმი რკინასთან ნებისმიერი
რაოდენობით შედნება სილიციდების წარმოქმნით: FeSi,
FeSi₂, Fe₃Si₃, Fe₃Si. ყველა ამ შენადნის დნობის ტემპერა-
ტურა არ აღემატება 1410°C. მაგრამ გამოშვების დროს
75%-იანი თხევადი ფეროსილიციუმის ტემპერატურა 1900°,
რაც გამოწვეულია სილიციუმის აღდგენის მაღალი ტემ-
პერატურით.

ტექნიკური ფეროსილიციუმი წარმოადგენს მრავალ-
კომპონენტის სისტემას, რომელიც მცირე რაოდენობით
შეიცავს შემდეგ ელემენტებს: Mn, Cr, P, C, S, Ca, Al. ისეთი
ელემენტები როგორცაა Al, P, Ca მიუხედავად მათი მცირე
რაოდენობისა ფეროსილიციუმში, ისინი ნესტიან ატმოს-
ფეროში იწვევენ შენადნის დაშლას (დაფხვნას). დაშლას
ყველა მარკის ფეროსილიციუმი არ განიცდის. დაშლი-
სადმი ყველაზე მეტი მიდრეკილება აქვს შენადნს 50-60%
სილიციუმით. დადგენილია, რომ შენადნის დაფხვნას იწ-
ვევს მასში მეტასტაბილური ფაზის - ლებოიტის FeSi₂
არსებობა, რომელიც წარმოიქმნება სილიციუმის 53-56%
კონცენტრაციის დროს. სილიციუმის დაბალი შემცველო-
ბის დროს 18-25% ლებოიტი არ წარმოიქმნება.

ლებოიტი წარმოიქმნება რკინის ატომების ნაწილობრივი ჩანაცვლებით სილიციუმის ატომებით FeSi_2 -ის იდეალურ მესერში, რის გამოც ის არის არამდგრადი. მეტასტაბილური ლებოიტი დაშლის შედეგად გადადის სტაბილურ ფორმაში, რის შედეგადაც ხდება მისი მოცულობის გაზრდა, რის შედეგადაც ხდება ფეროსილიციუმის დაშლა. ამ პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს P, Al, Ca, რომლებიც ლებოიტში წარმოქმნიან მყარ ფაზას. ამ მიმართებით განსაკუთრებით საშიშია ფოსფორი.

ნოტიო ჰაერის ან სინესტის ზემოქმედებით ფეროსილიციუმის ნატეხები ფხვნილად იქცევა, რომლის დროსაც გამოიყოფა ძლიერ შხამიანი აირები: ფოსფორიანი წყალბადი - PH_3 , დარიშხანიანი წყალბადი - AsH_3 და აცეტილენი C_2H_2 , რომელმაც გარკვეული კონცენტრაციის დროს შეიძლება გამოიწვიოს აფეთქება. ამ გარემოებათა გათვალისწინებით, ფეროსილიციუმი შენახული უნდა იყოს მშრალ სათავსებში, კარგი ვენტილაციით, სადაც დაუშვებელია ღია ცეცხლით შესვლა.

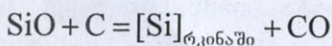
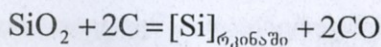
რკინის შენადნობებს სილიციუმთან, როგორც ცნობლია, აქვთ ლიკვაციისკენ მიდრეკილება, რომელიც ხშირად სილიციუმისათვის 8-10% აღწევს. ამ გარემოებამ შეიძლება გამოიწვიოს, მაგალითად FC75 -ის, რომელიც შეიცავს 74-80% სილიციუმს, ლიკვაციის შედეგად მასში სილიციუმის შემცირება და შედეგად მისი დაფხვნა. ეს პროცესი შეიძლება დაიწყოს უკვე საამქროებში, რაც კატეგორიულად დაუშვებელია, დაფხვნილი ფეროსილიციუმის მომხმარებელთან გაგზავნა არ შეიძლება, იგი მხოლოდ უნდა იქნეს გადამდნარი.

როგორც ცნობილია ლიკვაცია ხდება დროში. რაც უფრო ნელა ცივდება შენადნი, მით მეტადაა გამოხატული ლიკვაცია. თანამედროვე პირობებში შენადნის ჩამოსხმა ხდება საჩამოსხმო მანქანებზე, სადაც სხმულის სისქე არ აღემატება 80-100 მმ.

სილიციუმის რკინასთან შენადნობების მიღება, როგორც კრისტალური კაუბადის გამოდნობა დამყარებულია კაუმიწიდან სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის პროცესზე. ამავე დროს ეს პროცესები ძირუფლად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, რაც იმაში გამოიხატება, რომ ფეროსილიციუმის გამოდნობის დროს კაზმში სპეციალურად შეჰყავთ რკინა, მაშინ როდესაც კაუბადის გამოდნობის დროს რკინის მოხვედრა ღუმელში დაუშვებელია.

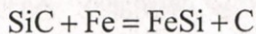
კაზმში რკინის არსებობა მნიშვნელოვნად ხელს უწყობს სილიციუმის აღდგენას, რადგანაც რკინა თავის თავში ხსნის აღდგენილ სილიციუმს და რეაქციის ზონიდან გადაჰყავს იგი ღუმელის ქვედისაკენ (რკინა „დალექავს“ სილიციუმს).

ამრიგად, სილიციუმის აღდგენის რეაქციები რკინის თანხლებით განხილული უნდა იყოს როგორც რეაქციები, რომლის დროსაც წარმოქმნილი პროდუქტი – სილიციუმი გადადის ხსნარში. ჩვეულებრივად ამ რეაქციებს წერენ შემდეგნაირად:



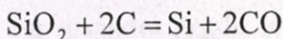
ცნობილია, რომ რეაქციის ერთ-ერთი პროდუქტის გადასვლა ხსნარში, ხელს უწყობს აღდგენით პროცესებს და ისინი მიმდინარეობენ უფრო დაბალ ტემპერატურებზე.

კაზმში არსებული რკინა არა მარტო ხელს უწყობს სილიციუმის აღდგენას, კაჟბადიდან, არამედ იგი შლის სილიციუმის კარბიდებს და წარმოქმნის სილიციდებს:



ამიტომაც ფეროსილიციუმის სადნობ ღუმელებში კარბორუნდი, როგორც ცალკე-დამოუკიდებლად არსებული წარმონაქმნი არ გვხვდება, როგორც ამას ადგილი აქვს კრისტალური სილიციუმის დნობისას. ის შედის გარნისაჟის შედგენილობაში, დიდი რაოდენობითაა შენადნში, წილში კი იგი მცირე რაოდენობით გადადის.

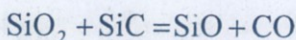
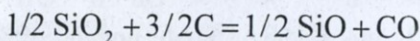
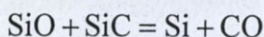
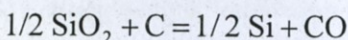
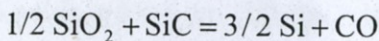
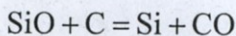
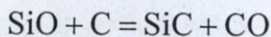
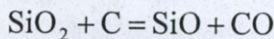
ფეროსილიციუმს ღებულობენ კვარციტში შემავალი კაჟბადის მყარი ნახშირბადით აღდგენის გზით, ფოლადის ან თუჯის ბურბუშელასთან ერთად. კაზმის შემადგენლობაში ლითონური რკინის (ბურბუშელას) არსებობის აუცილებლობა და არა მისი ოქსიდებისა (მადანი, აგლომერატი, გუნდა) განპირობებულია იმით, რომ რკინის ჟანგბადნაერთები შედარებით დაბალ ტემპერატურებში ურთიერთქმედებენ SiO_2 და წარმოქმნიან სილიკატურ ნაერთებს. როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ კაჟმიწის ნახშირბადით აღდგენის თეორიული ტემპერატურა რეაქციით:



შეადენს 1689°C , ხოლო FeO-SiO_2 ევტექტიკური ტემპერატურა შეადგენს 1178°C . ამიტომ, სილიციუმის შენადნობების მისაღებ კაზმში რკინის მადნის ან რკინიანი კვარციტების გამოყენება იწვევს დნობის პროცესების უპირატეს და წინმსწრებ განვითარებას აღდგენის პროცესებთან შედარებით. ღუმელის აბაზანაში სილიკატური ნალღობის წარმოქმნა მკვეთრად ამცირებს კაზმის ელექ-

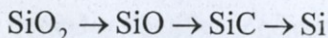
ტროწინალობას, ხდება მისი კომპონენტების განშრეგება, გროვდება სილიკატური წილა, რასაც საბოლოოდ ლუმელის მუშაობის დარღვევასთან მიეყვართ. ამიტომ ფეროსილიციუმის მიღების მოქმედი ტექნოლოგია ითვალისწინებს კაზში კვარციტის, კოქსის და ლითონური რკინის (ბურბუშელა) გამოყენებას. შესაძლებელია აგრეთვე თუჯის ბურბუშელის გამოყენება, მაგრამ ამ დროს შენადნში გაიზრდება ფოსფორის რაოდენობა.

Si-O-C სისტემაში შესაძლებელია შემდეგი რეაქციები:



ამ რეაქციებში მონაწილე ნივთიერებები გვევლინებიან, როგორც მყარ, ასევე თხევად და აირად ფაზებში.

როგორც მოყვანილი რეაქციებიდან ჩანს ტემპერატურის გაზრდით მოსალოდნელია კაუბადის ადღეგენის შემდეგი თანმიმდევრობით წარმართვა:



მოყვანილი მონაცემები განეკუთვნება Si-O-C და Fe-Si-O-C სისტემებში წონასწორულ მდგომარეობებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ მადანადმდგენელ ღუმელებში ეს პირობები მიიღწევა ცალკე აღებულ, მცირე მოცულობებში. მიუხედავად ამისა, ცალკეული კონდენსირებულ ფაზების (SiO_2 , C, SiC და Si) არსებობის არეალი SiO და CO გარკვეულ პარციალურ წნევებზე და ტემპერატურებზე, განსაზღვრავენ იმ პირობებს საითკენაც მიისწრაფვიან ეს სისტემები. რეაქციების საკმაო დროით მიმდინარეობის შემთხვევაში ყველა ეს ნაერთი წარმოიქმნება.

3.4. ფეროსილიციუმის მიღების ტექნოლოგია

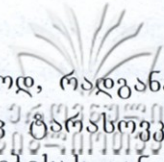
ფეროსილიციუმის მისაღებად იყენებენ შემდეგ ნედლე მასალებს: კვარციტი, ნახშირბადიანი აღმდგენელი და რკინის ბურბუშელა.

SiO_2 -ის შემცველობა კვარციტში უნდა იყოს არანაკლები 97%; Al_2O_3 არა უმეტესი 1,3-1,8% და სხვა ნივთიერებებით დანაგვიანებული არა უმეტეს 1%.

ჩვენი ფეროშენადნობთა წარმოება იყენებს ძირითადად ოვრუჩის, ტრასოვკის და აჯამეთის (ქალცედონი) კვარციტებს.

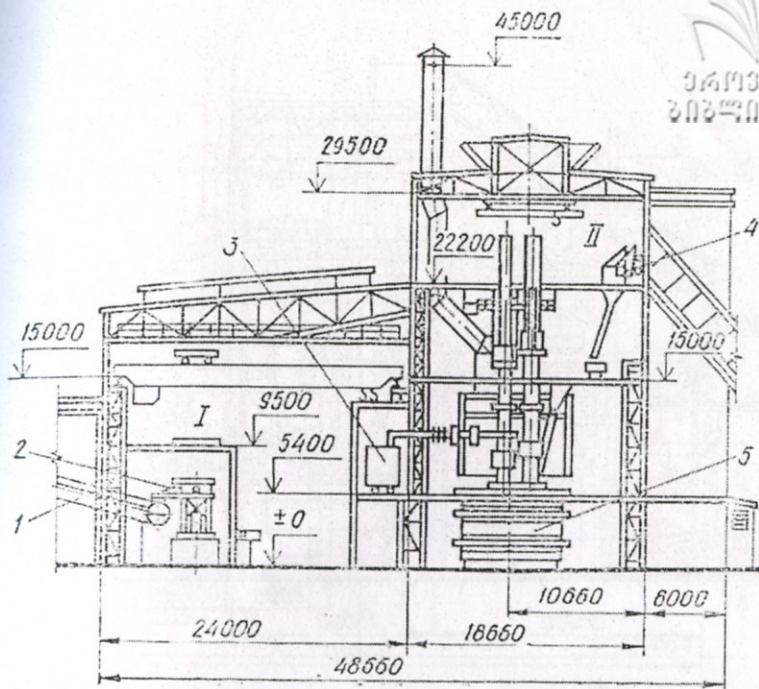
კვარციტების ქიმიური შედგენილობა, %

ოვრუჩის	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
კვარციტი	97,2	0,55	1,44	0,29	0,36	0,02
ტრასოვკის						
კვარციტი	97,7	0,14	0,42	0,12	0,10	0,02
აჯამეთის						
ქალცედონი	96,1	1,2	0,6	0,7	0,5	0,014



ოვრუჩის კვარციტი ითვლება საუკეთესოდ, რადგანაც იგი ღუმელში არ სკდება, მაშინ როდესაც ტარასოვის კვარციტი და აჯამეთის ჰალცედონი გახურებისას განიცდიან მსხვრევას, რის გამოც ღუმელში წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით წვრილი (0-5 მმ) ფრაქცია.

საკაზმე მასალების რაციონალური მომზადება (ბრიკტირება, დაგუნდავება, შეცხოება) საშუალებას გვაძლევს კვარციტების მაგივრად გამოვიყენოთ კაჟბადის შემცველი მდიდარი ქვიშები. ქვიშების საბადოები, რომლებიც შეიცავენ 96-98% SiO_2 -ს ჩვენს ქვეყანაში მრავლადაა და შესაძლებელია მათი გამოყენება ფეროშენადნობთა წარმოებაში. ქვიშები ადვილი მოსაპოვებელია, სავალდებულო არაა მათი დამსხვრევა და 1 ტონა ქვიშა ბევრად უფრო იაფია ვიდრე კვარციტი.

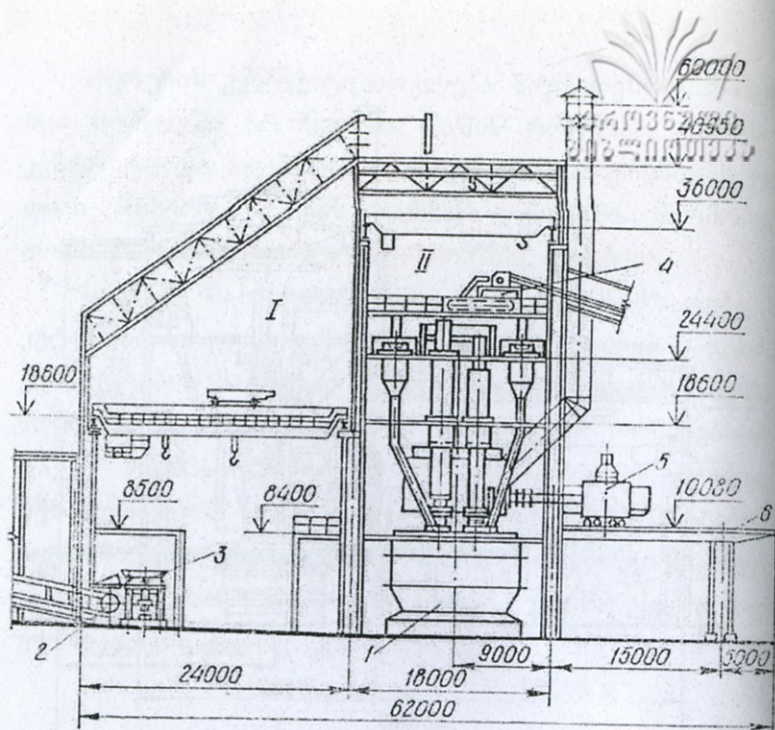


ნახ. 5. საამქრო საშუალო სიმძლავრის ღუმელებით:

I - საჩამოსხმო მალი; II - საღუმეღე მალი;

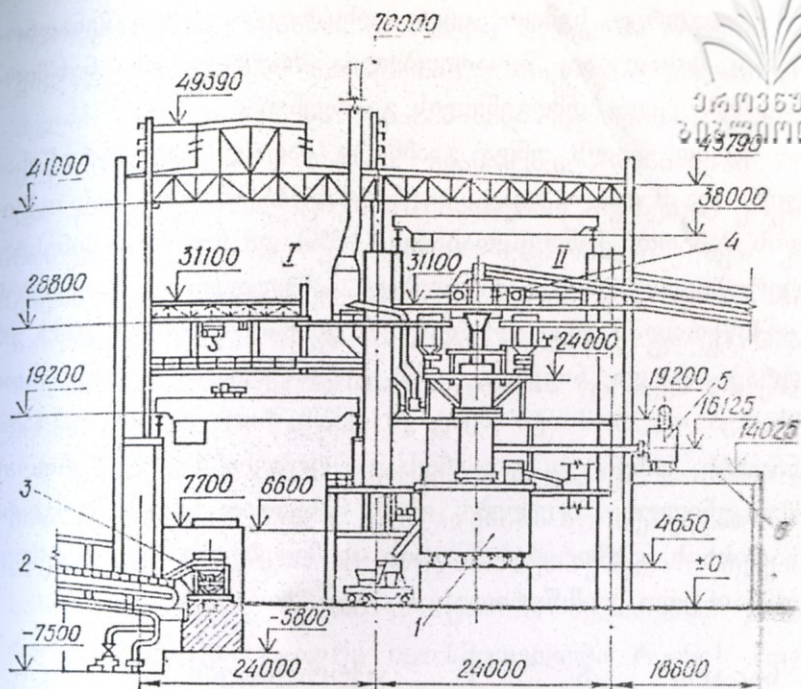
1 - საჩამოსხმო მანქანა; 2 - ციცხვი; 3 - ტრანსფორმატორი;

4 - კაზმის სკიპური მიწოდება; 5 - ელექტროღუმელი



ნახ. 6. საამქრო დიდი სიმძლავრის მრგვალი ღუმელებით:

- I - საჩამოსხმო მალი; II - საღუმეღე მალი;
- 1 - ელექტროღუმელი; 2 - საჩამოსხმო მანქანა;
- 3 - ციცხვი; 4 - კაზმის კონვეიერული მიწოდება;
- 5 - ტრანსფორმატორი; 6 - ესტაკადა.



საქართველოს
საინჟინერო-მშენებლო
აქადემია

ნახ. 7. საამქრო დიდი სიმძლავრის სწორკუთხა ღუმელებით:

- I - საჩამოსხმო მალი; II - საღუმელე მალი;
- 1 - ელექტროღუმელი; 2 - საჩამოსხმო მანქანა;
- 3 - ციცხვი; 4 - კაზმის კონვეიური მიწოდება;
- 5 - ტრანსფორმატორი; 6 - ესტაკადა.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ფეროშენადნობების მისაღებად შესაძლებელია მრავალგვარი ნახშირბადშემცველი აღმდგენელის გამოყენება.

აღმდგენელს უნდა გააჩნდეს მაღალი ელექტროწინაობა და მაღალი რეაქციისუნარიანობა სილიციუმის ოქსიდის მიმართ, ქონდეს დაბალი (1-3%) და მუდმივი სინესტეფეროსილიციუმის მისაღებად, ჩვეულებრივ იყენებენ კოქსწვრილას (მეტალურგიული კოქსის წვრილი 10-25 მმ ფრაქცია) და ნახვრადკოქსს. კოქსწვრილას უარყოფითი მხარეა ის, რომ იგი შეიცავს დიდი რაოდენობით (13-15%) ნაცარს, სინესტეს, გოგირდს და ფოსფორს. კოქსწვრილას შედგენილობა იცვლება იმის მიხედვით თუ როგორი ხარისხის ნახშირებიდან არის ის მიღებული. ჩვეულებრივი უკრაინული კოქსწვრილას შედგენილობაა %:

ნაცარი	S	P	აქროლადები	C მყარი
11,3	2,39	0,03	1,80	84,3

კოქსის ნაწილი შეიძლება შეცვლილი იყოს ელექტროდების გრაფიტიზაციის და კარბორუნდის (SiC) წარმოების ნარჩენებით. მათი შედგენილობა შემდეგია %:

გრაფიტიზაციის ნარჩენები: SiC - 26; C_{მყ} - 34, SiO₂ - 21.

კარბორუნდის ნარჩენები: SiC - 61; C_{მყ} - 10, SiO₂ - 20.

სილიციუმის გამოსადნობ კაზმში ამ ნარჩენების გამოყენება ეფექტურია, იმ მიზეზის გამო, რომ მათ ღუმელში შეაქვთ უკვე აღდგენილი სილიციუმის დიდი

რაოდენობა SiC სახით, რომელიც ღუმელში რკინით ად-
ვილად იშლება. ამ ნარჩენების გამოყენება ზრდის ღუ-
მელის წარმადობას და შესაბამისად ამცირებს ელექტროენერ-
გიის ხვედრით ხარჯს. უკანასკნელ პერიოდში 75%
და 90% ფეროსილიციუმის მისაღებად იყენებენ კოქსს,
რომელშიც 15%-მდე კვარციტია შეცხობილი. ასეთ კო-
ქსებს აქვთ მაღალი ელექტროწინააღობა და ცვლიან ხის
ნახშირებს. ნახშირბადიანი აღმდგენელების ელექტროწი-
ნალობის გასაზრდელად მათ ზედაპირს ფარავენ თხევადი
მინით ან კირიანი წყლით.

ღუმელში რკინის შესაყვანად იყენებენ ნახშირბად-
იანი, არალეგირებული ფოლადების ბურბუშელას არა
უმეტეს 50 მმ სიგრძისა. თუჯის ბურბუშელას შეყვანა
სასურველი არაა მასში ფოსფორის შედარებით დიდი
რაოდენობის გამო. ადრე იყო მცდელობა რკინის ბურ-
ბუშელას მაგივრად გამოყენებინათ რკინის ხენჯი და
რკინის მადანი. მაგრამ მალე ეს მეთოდი უარყოფილი
იქნა იმის გამო, რომ იგი საჭიროებს რკინის აღდგენას
ოქსიდებიდან, რაც თავისთავად იწვევს ელექტროენერ-
გიის და აღმდგენელის ხარჯის გაზრდას, იზრდება
აგრეთვე წიდის რაოდენობაც.

ამჟამად რკინის ხენჯის და კონცენტრატის გამო-
ყენება, რკინის ბურბუშელას სულ უფრო მზარდი დეფი-
ციტის პირობებში, შეიძლება სხვაგვარად იყოს გააზრე-
ბული. რეკომენდირებულია, რომ რკინის მადანი აღმდე-
გენლთან ერთად დაბრიკეტდეს ან დაგუნდავდეს და შემ-
დეგ მოხდეს მისი მაღალტემპერატურული გამოწვა. დნო-
ბამდე პრიკეტების გამოწვა საშუალებას იძლევა მასში

არსებული რკინის ოქსიდები აღდგენილ იქნას რკინამდე და ღუმელს მივაწოდოთ რკინა არა ოქსიდების სახით, არამედ უკვე ლითონურ მდგომარეობაში.

ფეროსილიციუმის დნობისათვის გამოყენებულ საკაზმე მასალებს, ღუმელში მოხვედრამდე წინასწარ ამზადებენ (დამსხვრევა, გაცრა და ა.შ.). კვარციტი უნდა იყოს გარეცხილი (სუფთა თიხოვანი მინარევებისაგან). მისი ფრაქციულობა უნდა იყოს 20-70 მმ. კოქსწვრილას ფრაქცია უნდა შეადგენდეს 5-20 მმ. გრაფიტიზაციის და კარბორუნდის წარმოების ნარჩენები წინასწარ რაიმე დამუშავებას არ საჭიროებენ. რკინის ბურბუშელას ახარისხებენ და ამსხვრევენ ზომით - 50 მმ.

ღუმელის ნორმალური მუშაობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული საკაზმე მასალებისა და კაზმის მომზადების ხარისხზე. სამწუხაროდ, კაზმის მომზადებას არ ექცევა ჯეროვანი ყურადღება, იგი დაბალ დონეზეა და გამოიხატება მხოლოდ, საკაზმე მასალების ქიმიური და გრანულომეტრული შემადგენლობის შერჩევაზე. რა თქმა უნდა, ორივე ეს პარამეტრი მნიშვნელოვანია, მაგრამ აღდგენის კინეტიკის თვალსაზრისით, აშკარად არასაკმარისია.

როგორც ნახშირბადაღდგენით პროცესებზე ჩატრებული მრავალი გამოკვლევები ცხადყოფს, სილიციუმის აღდგენის სიჩქარე ჩვეულებრივი ნაყარი კაზმიდან მნიშვნელოვნად დაბალია ბრიკეტბთან შედარებით. ამიტომ ფეროსილიციუმის გამოსადნობი კაზმი უნდა იქნეს დაბრიკეტებული, რომელშიდაც წარმოდგენილი იქნება კაზმის ყველა კომპონენტი (მონოკაზმი). ასეთი ბრიკეტების გამოყენება საშუალებას იძლევა ადვილად გადავწყვიტოთ აღმდგენელის

შერჩევის პრობლემა (შეიძლება გამოვიყენოთ ყველაზე მდარე ხარისხის აღმდგენელები: მურა ნახშირი, ტორფის კოქსი, სუსტადკოქსვადი ნახშირები და სხვა). შემკველად შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვადასხვა ფისები, ბიტუმები, სულფიტური ბარდა, თხევადი მინა და სხვა. ასეთი ბრიკეტები უნდა გამოიწვას 700-800°C ტემპერატურაზე და ცხელ მდგომარეობაში მიეწოდოს ღუმელს.

ფეროსილიციუმის გამოდნობა წარმოებს დიდი სიმძლავრის (16,5-63 მვა) ნახშირის ბლოკებით ამოგებულ, ღია და დახურულ ღუმელებში.

ღია ღუმელებში დნობა გაცილებით ადვილია, დიდი ხანია წარმოებს და კარგადაა ათვისებული. მაგრამ, ღია რეჟიმით მუშაობის მეთოდი ძლიერ არახელსაყრელია, რადგანაც ღუმელიდან გამოყოფილი დიდი რაოდენობის მაღალკალორიული აირები საკერძეზე იწვიან და ვერ ხდება მათი გამოყენება.

ღია ღუმელებში ხდება მაღალი მარკის (ΦC 75, ΦC 90) ფეროსილიციუმის გამოდნობა, ხოლო დახურული ტიპის ღუმელებში, შედარებით დაბალი მარკის (ΦC 20, ΦC 25, ΦC 45 და ΦC 65) ლითონის გამოდნობა.

განვიხილოთ ფეროსილიციუმის გამოდნობა ღია ღუმელებში, სადაც დნობის პროცესი უწყვეტია, ნაღობის პერიოდული გამოშვებით. გამოცდილებამ გვაჩვენა, რომ ღუმელის ნორმალური მუშაობისათვის აუცილებელია მუდმივად ვაკონტროლოთ საკაზმე მასალების ხარისხის და მათი დოზირების სიზუსტე. სხვადასხვა მარკის შენადნისათვის მიღებულია კაზმის თითოეული ულუფის შემდეგი შედგენილობა, კგ.



დახარისხებული	ΦC90	ΦC75	ΦC45	ΦC18
კვარციტი	300	300	300	200
მშრალი კაქსწვრილა	144	143	143	94
ვოლადის ბურბუშელა	-	35	175	435

კაზმის ჩატვირთვა ღუმელში ხდება საკაზმე მიღებიდან ელექტროდების გარშემო. ცდილობენ, რომ მის ირგვლივ იყოს კაზმის მომცრო კონუსები. ელექტროდების ქვედა ზონებში წარმოიქმნება ე.წ. ტიგელები, ესაა ელექტროდის გარშემო და მის ბოლოში არსებული არე. ეს არის ყველაზე მაღალტემპერატურული ზონა, სადაც ხდება კაზმის გადნობა და მისი ინტენსიური სვლა. ელექტროდებიდან მოცილებული კაზმი ხურდება შედარებით ნელა, ღუმელის კედლებთან ახლოს მისი ტემპერატურა იმდენად დაბალია, რომ ის არ დნება, არამედ შეცხვება და წარმოქმნის ე.წ. გარნისაუს.

ღუმელის ნორმალური მუშაობის დროს გამოყოფილი საკერძე აირები, ალის ენების სახით, ანთია კაზმის ზედაპირზე. მათი ყველაზე დიდი რაოდენობა ელექტროდის ირგვლივ გამოიყოფა. კაზმის შეცხობის დროს ირდევია აირების თანაბარი გამოყოფა და განაწილება. საკერძეზე, ცალკეულ ადგილებში ხდება აირის თვალისმომჭრელი, მკვეთრი ალების სახით გამოტყორცნა, რომლებსაც დიდი რაოდენობით თან მიაქვთ სილიციუმის ორთქლი და SiO. კაზმის შეცხობის თავიდან ასაცილებლად და გამოყოფილი აირების ადვილად და თანაბრად გამოსასვლელად, მიმართავენ საკერძის პერიოდულ დამუშავებას, რაც

მაში მდგომარეობს, რომ შეცხოვილ კაზმს ლითონის წკირით ჩაჩხვლიტავენ (აირების თანაბრად გამოყოფისათვის), ჩაანგრევენ მას და საჭიროების მიხედვით ჩატვირთავენ კაზმის ახალ ულუფას.

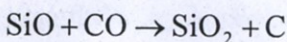
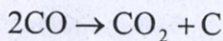
ფეროსილიციუმის დნობის დროს აუცილებელია მუდმივად ვადვენოთ თვალი კაზმის სწორ დოზირებას. არასწორი დოზირება იწვევს ღუმელის მუშაობის დარღვევას და წარმადობის შემცირებას. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს კოქსწვრილას სინესტის ცვალებადობას. საიჭროა ყველა ცვლაში მისი გაკონტროლება და საჭიროების შემთხვევაში მოხდეს კაზმის კორექტირება. წინააღმდეგ შემთხვევაში, კაზმში გვექნება აღმდგენელის სიჭარბე ან დანაკლისი. ანალოგიური შეიძლება განმეორდეს დოზირების დროს, არასწორი აწონვის შემთხვევაში. აღმდგენელის უკმარისობა იწვევს ღუმელის ე.წ. დაკვარციტებას (გამდნარი და აღუდგენელი კვარციტის დაგროვება ღუმელის ქურაში), რის შედეგადაც ღუმელის წინალობა იზრდება იმდენად, რომ ელექტროდები ჩაფლობილი არიან გაძნარ მასაში, ქრება რკალური რეჟიმი და ღუმელი მუშაობს წინალობის რეჟიმში. ამ დროს ღუმელი ვერ მოიხმარს აუცილებელ სიმძლავრეს, რის გამოც მისი წარმადობა მკვეთრად ეცემა.

აღმდგენელის სიჭარბით ხანგრძლივი მუშაობის შემთხვევაში ელექტროდები წამოიწევენ ძალიან მაღლა, ღუმელის ქვედი ცივდება, გამოშვების დროს ლითონი გამოდის ცოტა, ხოლო წიდის გამოსვლა საერთოდ წყდება. ღუმელში კაზმის კორექტირება მოითხოვს გარკვეულ დროს, ამიტომ ღუმელის მუშაობის ნორმალურ რეჟიმში

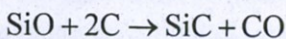
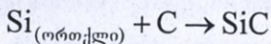
დაბრუნებას თან ახლავს მისი წარმოადობის მნიშვნელოვანი დანაკარგი.

სილიციუმის აღდგენა და ფეროსილიციუმის წარმოქმნა არის საკმაოდ რთული ფიზიკო-ქიმიური პროცესი და მიმდინარეობს, ზემოთ განხილული, კაუბადის ნახშირბადით აღდგენის შესაბამისი რეაქციებით.

ფეროსილიციუმის სადნობი ღუმელების სხვადასხვა ზონიდან ამოღებული სინჯების გამოკვლევამ აჩვენა, რომ დნობის პროცესები, ღუმელის შესაბამის ტემპერატურულ ზონებში, გარკვეული თანმიმდევრობით ვითარდება. ღუმელის ზედა ზონებში, საკერძეზე ($300-500^{\circ}\text{C}$) გამოყოფილი აირების წვის ხარჯზე მომდინარეობს სინესტის მოცილება. ღუმელის შედარებით დაბალ პორიხონტებში $900-1100^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე (საკერძიდან 200 მმ) საკაზმე მასალები იფარება კუპრით შემდეგი რეაქციების მიმდინარეობის გამო:



$1200-1400^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე კვარციტი გადაღის მაღალტემპერატურულ ფორმებში, რის შედეგადაც ის კარგავს სიმტკიცეს, მასზე ჩნდება ბზარები და ზედაპირი იფარება მწვანე ფერით, რაც სილიციუმის კარბიდის წარმოქმნის მაჩვენებელია:



ღუმელის ამ ზონებში რკინის ბურბუშელა ინტენსიურად დანახშირბადდება, დნება, ჩაედინება დაბლა, გზაში ხდება მისი სილიციუმით გაჯერება და შენადნის წარმოქმნა.

კოქსწვრილა განიცდის გრაფიტიზაციას და მის ფორმებში წარმოიქმნება SiC (SiC კოქსით ფსევდომორფოზა). 1600°C კვარციტი იმხურევა, იგი იფარება ყვითელი ფერის წარმონაქმნით. ჩნდება ლითონის ცალკეული წვეთები.

კაზმი, SiO₂-ის დნობის ტემპერატურაზე (1720°C) მაღლა, შესამჩნევად შეცხვება, განსაკუთრებით იქ, სადაც ბევრია წვრილი ფრაქცია. შემცხვარი მასა ძირითადად წარმოადგენს გამდნარ კვარციტს და კოქსწვრილას, რომლებიც მნიშვნელოვანწილად უკვე გარდაქმნილი არიან SiC და გრაფიტად. კოქსის ცალკეული ნატეხები გაუღენთილია მინით. ხშირად შემცხვარი მასა, რომელიც შეცემენტებულია მინით, მკვრივი ბლოკების სახითაა და მასში აირების გავლა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ასეთ შემცხვარ ბლოკებში აღდგენის პროცესები გართულებულია, რადგანაც აღგილი აქვს კაზმის ძალიან დიდი დიფერენციაციას, ცუდ აირგანვლადობას, რაც ართულებს CO-ს გამოყოფას.

2000°C ტემპერატურაზე მაღლა (ელექტროდის ქვედა არე) კაჟმიწა თხევად მდგომარეობაშია და იგი კარგად ასველებს კოქსწვრილას. აქ მიმდინარეობს SiO₂-ის საბოლოო აღდგენის რეაქციები, ხდება ლითონის გამოყოფა წიდისაგან.

ფეროსილიციუმის მიღების პროცესი განეკუთვნება 2-წ. „უწილო“ პროცესების კატეგორიას. სინამდვილეში

წიდა კი წარმოიქმნება, მაგრამ ძალიან მცირე რაოდენობით. 1ტ ΦC 45 მოდის 25-50 კგ წიდა, ხოლო 1ტ ΦC 75 კი - 40-80 კგ.

ფეროსილიციუმის წილები ძალიან ბლანტია და ღუმელიდან ისინი ძალიან ძნელად გამოდინან. მის გასათხევადებლად ღუმელში შეჰყავთ კირი. გათხევადების ასეთი მეთოდი არასასურველია, რადგანაც ის იწვევს ელექტროენერგიის ხარჯის გაზრდას.

ფეროსილიციუმის წილებში აღდგენილი სილიციუმის და SiC ჩანართების სახით იკარგება აღდგენილი ლითონის მნიშვნელოვანი რაოდენობა. ამიტომ მათი ხელმეორედ გამოყენება და პროცესში დაბრუნება მეტად აქტუალურია.

ფეროსილიციუმის წილებს შედგენილობა დაახლოებით შემდეგია, %

შენადნი	SiO ₂	Si	SiC	Al ₂ O	CaO	FeO	MgO
ΦC 18	35	-	0,9	18	12	0,8	1,8
ΦC 45	37	-	10,2	16	20	0,7	0,8
ΦC 75	32	5,6	14,3	23	16	0,2	1,6

დნობის პროცესში აღგილი აქვს აგრეთვე სილიციუმის მნიშვნელოვან დანაკარგებს ორთქლის და SiO-ს სახით. ეს დანაკარგები შენადნის მარკის მიხედვით სხვადასხვაა: ΦC 18-3%; ΦC 45-5%; ΦC 75-8% და ΦC 90-18%.

ამ დანაკარგების შემცირება შესაძლებელია დაბრიკტებული კაზმით მუშაობის შემთხვევაში.

ფეროსილიციუმის გამოშვება ღუმელიდან ხდება ცეცხლში 3-4-ჯერ შამოტის აგურით ამოგებულ ციცხვებში. მისი ჩამოსხმა ხდება საჩამოსხმო მანქანებზე.

ხარჯვითი კოეფიციენტები 1ტ ფეროსილიციუმის მისაღებად ღია ღუმელებში შემდეგია, კგ:

კვარციტი	ΦC18	ΦC45	ΦC75
რკინის ბურბუშელა	425	940	1731
მშრალი კოქს ჯვრილა	850	569	210
გრაფიტიზაციის ნარჩენები	205	455	740
გრაფიტიზაციის ნარჩენები	—	285	13
ელექტროდის მასა	20	22	44
ელექტროენერგია (კვტ. სთ)	2350	4430	8750

ფეროშენადნობთა წარმოების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე ფეროსილიციუმის გამოდნობა ღია ღუმელებში ითვლება მოძველებულ ტექნოლოგიად, ამიტომ ახალ საამქროებში იდგმება მხოლოდ დახურული ღუმელები, ხოლო ძველ, ღია ღუმელებს უკეთებენ თაღებს.

ფეროსილიციუმის გამოდნობას დახურულ ღუმელებში აქვს შემდეგი ძირითადი უპირატესობები:

1. შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მაღალკალორიული საკერძე აირები კაზმის გასახურებლად ან გამოსაწვავად. მათი თბოუნარიანობაა 2500 კკალ/მ³, ხოლო რაოდენობა 1ტ შენადნეზე შეადგენს 800 მ³. აირების შედგენილობა შემდეგია CO-80-85%; CO₂-2,2-4,0%; O₂-0,8-0,9%; H₂-3-4%; N₂1,5-2,0%.

2. ჰაერში მანვე გამონაბოლქვების აღკვეთა, შემცირება. დღედამეში ფეროსილიციუმის სადნობი, 16,5 მგა

სიმძლავრის ღუმელი ატმოსფეროში გამოყოფს დაახლოებით 1,5 ტ. მტვერს.

3. საამქროში შრომის სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების გაუმჯობესება (ღუმელების მინიმალური თბური გამოსხივება, ტოქსიკური აირების მოცილება, საამქროს მინიმალური დამტვერიანება).

დახურულ ღუმელებში ფეროსილიციუმის მიღების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები იგივეა, რაც ღია ღუმელებში, მაგრამ მას თან ახლავს რიგი გართულებებისა, რომლის აღმოფხვრა ხელს შეუწყობს დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაზრდას.

სხვადასხვა მარკის ფეროსილიციუმის დნობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სილიციუმის რაოდენობის გაზრდა შენადნში იწვევს მისი სასარგებლო გამოყენების (ამოკრეფის) შემცირებას. დანაკარგები ძირითადად მოდის SiO₂-ს აორთქლებაზე, წიდაზე, კოვშის ნარჩენებზე და ჩამოსხმის დროს ლითონის გაშხეფებაზე.

ფეროსილიციუმის წარმოების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები შეიძლება მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს თუ დნობა განხორციელდება დიდი სიმძლავრის, 75 მვა ღუმელებში. სპეციალური გამოკვლევებით დადგენილია, რომ მუდმივი დენის გამოყენება ღუმელებში მკვეთრად გაზრდის დნობის ყველა მაჩვენებელს. ამ შემთხვევაში უმჯობესდება ტრანსფორმატორის სიმძლავრის გამოყენება, მარტივი ხდება მოკლე ქსელი, და სხვა. მუდმივი დენის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს გაიზარდოს სილიციუმის აღდგენის ხარისხი, შემცირდეს მავნე მინარევების რაოდენობა და ელექტროენერჯის ხარჯი.

ფეროსილიციუმის წარმოების თვითღირებულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ძირითადი დანახარჯები მოდის ელექტროენერგიაზე და საკაზმე მასალებზე (კოქსი, კვარციტი).

ზემოთ განხილული იყო შენადნის მიღების თეორიული და ტექნოლოგიური საფუძვლები, რომლის ცოდნა და დაგროვილი მდიდარი გამოცდილება საშუალებას მისცემს სპეციალისტს სწორად და რაციონალურად წარმართოს დნობის პროცესი, რასაც საბოლოოდ მოჰყვება მატერიალური დანახარჯების შემცირება.

თავი 4. მანგანუმი და მისი შენადნობები



4.1. მანგანუმის ფიზიკო-ქიმიური თვისებები

ატომური მასა – 54,93

სიმკვრივე 20°C – 7,4 გ/სმ³

სიმკვრივე 1243°C – 6,43 გ/სმ³

დნობის ტემპერატურა - 1243°C

დუღილის ტემპერატურა – 2036°C

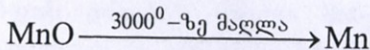
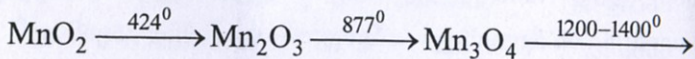
ვალენტობა – 2, 3, 4, 6 და 7

ჟანგბადთან მანგანუმი წარმოქმნის ოქსიდებს, რომლებიც შედიან მანგანუმის მადნების შედგენილობაში:

MnO₂ – ორჟანგი; Mn₂O₃ – ჟანგი; Mn₃O₄ – ქვეჟანგ-ჟანგი; MnO – ქვეჟანგი.

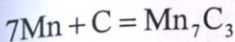
მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად დისოცირდებიან, გასცემენ ჟანგბადს და გადადიან დაბალ ოქსიდებში. ამ მხრივ ყველაზე მდგრადია MnO.

მანგანუმის ოქსიდების თერმული დისოციაცია მიმდინარეობს შემდეგი სქემით (დისოციაციის ტემპერატურები მოცემულია ჰაერის პირობებში):

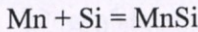


სხვა ელემენტებთან მანგანუმი წარმოქმნის კარბიდებს, სილიციდებს, ფოსფიდებს, ნიტრიდებს და სულფიდებს:

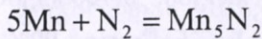
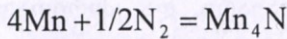
$3\text{Mn} + \text{C} = \text{Mn}_3\text{C}$ ეს კარბიდი 1000°C-ზე ზევით არამდგრადია.



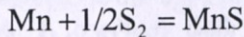
არსებობს მანგანუმის რამდენიმე სილიციდი: Mn_2Si , MnSi და Mn_2Si_3 . მათგან მაღალ ტემპურატურებში ყველაზე მდგრადია MnSi .



ახოტთან მანგანუმი წარმოქმნის ნიტრიდებს:



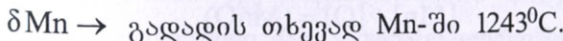
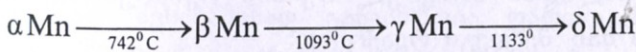
გოგირდთან იგი წარმოქმნის სულფიდებს:



მანგანუმი ფოსფართან წარმოქმნის მთელ რიგ ნაერთებს. მათგან ყველაზე მდგრადია MnP და Mn_2P (დნობის ტემპურატურა, შესაბამისად არის 1147 და 1327⁰C).

რკინასთან მანგანუმი წარმოქმნის ნებისმიერი შედგენილობის შენადნებს, რომელთა დნობის ტემპურატურა რკინის დნობის ტემპურატურაზე გაცილებით დაბალია.

მანგანუმი პოლიმორფული ლითონია. პოლიმორფული გარდაქმნის ტემპურატურები შემდეგია:



მანგანუმის ოქსიდების ზოგიერთი ფიზიკო-ქიმიური თვისებები შემდეგია.

მაჩვენებელი	MnO	Mn_3O_4	Mn_2O_3	MnO
მოლეკულური მასა	70,93	228,81	157,87	86,93

ჟანგბადის შემცველობა, %	50	57,12	60	66,67
-------------------------	----	-------	----	-------

სიმკვრივე ტონა/მ ³	5,18	4,70	4,94	5,03
დნობის ტემპერატურა °C	1785	1590	1347	847

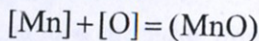
ეროვნული
ბიბლიოთეკა

4.2. მანგანუმის და მისი შენაღრობების გამოყენების არეალი

მანგანუმის მთავარი და ძირითადი მომხმარებელი მეტალურგიული წარმოება. მოხმარების საერთო სტრუქტურაში, მისი უიდეხი ნაწილი 90% მეტი, სხვადასხვა ფეროშენადნობების სახით გამოიყენება ფოლადების წარმოებაში. მანგანუმის ხარჯი 1 ტ ფოლადზე საშუალოდ შეადგენს 7-9 კგ. მანგანუმის შედარებით მცირე მომხმარებელს წარმოადგენს ქიმიური, კერამიკული და მინის წარმოება.

შავ მეტალურგიაში მანგანუმი გამოიყენება ფოლადების განუანგვისა და ლეგირებისათვის, აგრეთვე გოგირდის შემცველობის შესამცირებლად თუჯში და ფოლადებში.

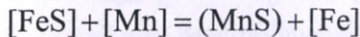
მანგანუმი თხევად მდგომარეობაში ურთიერთმოქმედებს ფოლადში არსებულ რკინის ოქსიდებთან და განუანგავს მას შემდეგი რეაქციით:



დაბალლეგირებული ფოლადები (ინსტრუმენტალური, საკონსტრუქციო) შეიცავენ 0,4-0,6% მანგანუმს, მაღალლეგირებულები კი - 14%-მდე. ასეთი ფოლადების რიცხვს მიეკუთვნება ცნობილი, გატფილდის ტიპის ცვეთამეღებო ფოლადი (Г13Л). იგი შეიცავს 12-14% მანგანუმს და გ

მოიყენება სალიანდაგო ისრებისათვის, სამსხვრეველების
უბებისათვის, ექსკავატორის კბილებისათვის, ტრაქტორე-
ბის მუხლუხებისათვის და სხვა. უჟანგავი ფოლადების
შეიცავენ Mn 4-6%, Cr 17-20%, Ni 5-7%. არამაგნიტური
ფოლადები: Mn 7,5-9,5%, Cr 3,8-4,3%, Ni 8-10%. მანგანუმი
გამოიყენება აგრეთვე სპილენძთან და ალუმინთან სპე-
ციალური დანიშნულების შენადნობების მისაღებად.

მანგანუმი ფოლადების კარგი დესულფურატორია.
რკინაში გახსნილ გოგირდთან მანგანუმი წარმოქმნის
თერმოდინამიკულად მტკიცე სულფიდს, რომელიც
რკინაში და მის შენადნობებში მეტად მცირედ იხსნება.



ამიტომ მანგანუმი, კონცენტრატების სახით, ფართოდ
გამოიყენება თუჯის მისაღები კაზმის შედგენილობაში. 1
ტონა რკინის აგლომერატის მისაღებად იხარჯება 12-30
კგ მანგანუმის კონცენტრატი. მანგანუმის საშუალო
ხარჯი 1 ტ გადასამუშავებელ თუჯზე შეადგენს 25 კგ,
ხოლო საჩამოსხმო თუჯისათვის - 15 კგ.

მანგანუმი ძირითადად გამოიყენება რკინასთან, მისი
შენადნობების სახით. ფოლადების შედგენილობის დიდმა
ნაირსახეობამ, შესაბამისად განაპირობა ფართო სორტა-
მენტის მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მიღება. ამჟამად
შველახე გავრცელებული მანგანუმიანი ფეროშენადნობებია:

- ფერომანგანუმი (მაღალნახშირბადიანი, საშუალო-
ნახშირბადიანი, დაბალნახშირბადიანი) - ნახშირბადის,
ფოსფორის და სხვა მინარევების ზღვრული დასაშვები
კონცენტრაციებით;

- სილიკომანგანუმი, სილიციუმის შემცველი ფართო ინტერვალით (10-30%) და ნახშირბადის, ფორის და სხვა მინარეების ზღვრული ცენტრაციებით.

- ლითონური მანგანუმი, ელექტროლიტური (MnO და MnO) და ელექტროთერმული ($Mp1$, $Mp2$, $Mp1C$) ხერხით მიღებული;

- აზოტირებული ლითონური მანგანუმი - შეიცავს 2-8% აზოტს.

გარდა ზემოთ აღნიშნული ფეროშენადნობებისა მანგანუმის ფუძეზე იწარმოება მრავალი სხვადასხვა დანიშნულების და შედგენილობის კომპლექსური შენადნობები.

4.3. მანგანუმის მადნების და კონცენტრატების დახასიათება

მანგანუმი ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში (სხვა ელემენტებს შორის უკავია დაახლოებით 15 ადგილი) და შედის ძალიან ბევრი ნაერთების შედგენილობაში. მანგანუმის მადნების შედგენილობაში არსებული ყველაზე გავრცელებული მინერალები, რომლებსაც გააჩნიათ სამრეწველო მნიშვნელობა შემდეგია: პიროლუიზიტი (MnO_2), ბრაუნიტი ($MnO \cdot MnO_2$), მანგანიტი ($MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$), ფსილომელანი ($MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$), გაუსმანიტი (Mn_3O_4), მანგანოკალციტი ($(Mn, Ca)CO_3$), როდოქროზიტი ($MnCO_3$), როდონიტი ($MnO \cdot SiO_2$).

მინერალური შედგენილობით და ქიმიურ ნაერთთა ბუნების მიხედვით მანგანუმის მადნები იყოფიან შემდეგ ძირითად სახეობებად: უანგეული, დაჟანგული (კარბონატული მადნების დაჟანგვის პრდუქტი), კარბონატული და შერეული (უანგეული და კარბონატული). გაერცელების მიხედვით მადნები შემდგენიარადაა წარმოდგენილი: უანგეული მადნები - 23%, კარბონატული მადნები - 70%, ხოლო შერეული - 7%.

მანგანუმის მადნები შეიცავენ დიდი რაოდენობით ფუჭ ქანებს და შესაბამისად ისინი ღარიბია მანგანუმის შემცველობით. ამიტომ ყველა სახის მადნებს, რომლებიც გამოიყენებიან მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გამოსადნობად, წინასწარ ამლიდრებენ. შედეგად მიიღება კონცენტრატები და სწორედ მათი გამოყენება ხდება შენადნობების მისაღებად.

გაუმლიდრებელი (ნედლი)

მანგანუმის მადნების შედგენილობაა, %.

უანგეული მადანი	Mn	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
კარბონატული შერეული	20-22	0,16-0,02	25-39	3-6	2-3	1,7-6
კარბონატული	18-25	0,15-0,19	14-33	2,5-6	3-4,5	10-18
შერეული	20-27	0,17-0,20	18-25	4-5	3-4	7-17

შესაბამისად მიღებული კონცენტრატების შედგენილობაა

	Mn	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
I ხ. კონცენტრატი	48,5	0,17	10,5	2,14	1,64	2,34
IV ხ. კონცენტრატი	23,8	0,18	33,4	3,7	2,24	4,85

კარბონატული
კონც.

26,5

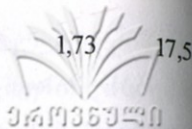
0,15

9,4

3,21

1,73

17,5



მანგანუმის მადნების გამდიდრების და მანგანუმის სახით იკარგება დაახლოებით 25-30% მანგანუმი. ამჟამად მიმდინარეობს ფართო სამუშაოები ლამების და სხვა გამდიდრების ნარჩენების შემდგომი გამოყენების თვალსაზრისით.

სხვადასხვა სახის მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გამოსადნობად გამოყენებულ მანგანუმის კონცენტრატებს წაეყენებათ გარკვეული, ტექნოლოგიურად დასაბუთებული მოთხოვნები:

1. მანგანუმის შემცველობა, (%Mn);
2. ფოსფორის ხვედრითი შემცველობა (ფოსფორის მოდული), $\frac{\%P}{\%Mn}$;
3. კაჟმიწის ხვედრითი შემცველობა (კაჟმიწის მოდული), $\frac{\%SiO_2}{\%Mn}$;
4. რკინის ხვედრითი შემცველობა (რკინის მოდული), $\frac{\%Fe}{\%Mn}$;
5. ფუძიანობა, $\frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2}$;
6. სინესტე, (%H₂O);
7. გრანულომეტრული შედგენილობა

ნედლეულის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებელია მასში მანგანუმის შემცველობა, რომელიც უდიდეს გავლენას

ახდენს დნობის ყველა ტექნიკო-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე.

ჭიათურის მანგანუმის მადნებში და კონცენტრატებში არსებობს გარკვეული კაუშირი მანგანუმის შემცველობას და მინარევების (ფოსფორი, კაუმიწა, რკინა) შემცველობას შორის. მეტალურგიულ პრაქტიკაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მინარევების არა აბსოლუტურ რაოდენობას, არამედ მათ ფარდობით შემცველობას (მოდულს).

ფოსფორის მოდულის (P/Mn) სიდიდე გვიჩვენებს შესაძლებელია თუ არა ფოსფორით სტანდარტული შენადნის მიღება.

მანგანუმიანი ნედლეულის ხარისხის მნიშვნელოვანი მაჩვენებელია მისი ფუძიანობა $\left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} \right)$, რომელიც განსაზღვრავს წილის ჯერადობას და მანგანუმის აღდგენის სიღრმეს და ხარისხს.

კონცენტრატების სინესტე, განსაზღვრავს საჭიროებს თუ არა იგი წინასწარ გამოშრობას და რომელიც დიდ გავლენას ახდენს დნობის დროს ელექტროენერჯის ხარჯზე.

დნობის წარმართვისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს კონცენტრატების გრანულომეტრულ შედგენილობას. დიდი რაოდენობის წვრილი ფრაქცია (0-5 მმ) მკვეთრად აუარესებს ღუმელის მუშაობას და მიუთითებს მისი დანაჯროვნების აუცილებლობაზე.

4.4. მანგანუმის კონცენტრატების დეფოსფორაცია



დაბალხარისხიანი მადნების გამოყენების დროს, ფოსფორით სტანდარტული შენადნის მისაღებად ღირს ნაადმდეგობას ვაწყდებით. ასეთ მადნებში, სასარგებლო ელემენტის – მანგანუმის რაოდენობის შემცირებასთან ერთად იზრდება ფოსფორის ფარდობითი შემცველობა. ამიტომ ასეთი მადნების (ღარიბი) გამოყენება წინასწარი დეფოსფორაციის გარეშე შეუძლებელია. დამოკიდებულება ფოსფორის შემცველობისა ლითონში და კონცენტრატში, შეიძლება მივიღოთ შემდეგი ტოლობების გამოყენებით:

$$[Mn] = (Mn) \frac{\alpha}{100}$$

$$[P] = (P) \frac{\beta}{100}$$

$$\frac{[P]}{[Mn]} = \frac{(P)}{(Mn)} \cdot \frac{\beta}{\alpha}$$

$$[P] = [Mn] \cdot \frac{(P)}{(Mn)} \cdot \frac{\beta}{\alpha},$$

სადაც $[P]$ – ფოსფორის პროცენტული შემცველობაა შენადნში;

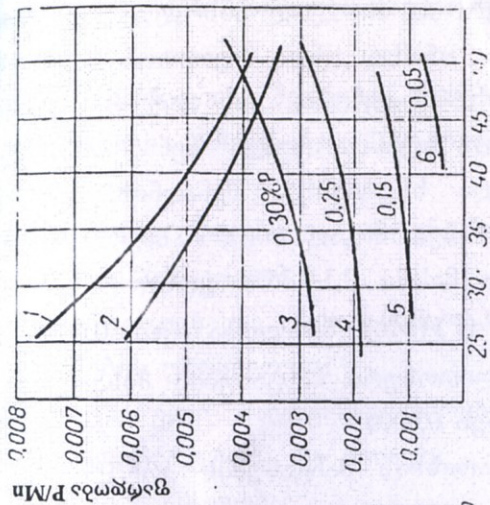
$[Mn]$ – მანგანუმის პროცენტული შემცველობა შენადნში;

(P) – ფოსფორის პროცენტული შემცველობა კონცენტრატში;

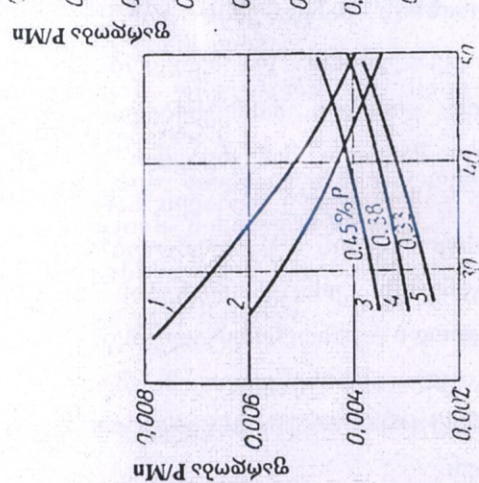
(Mn) – მანგანუმის პროცენტული შემცველობა კონცენტრატში;

β – ფოსფორის, კონცენტრატიდან შენადნში გადასვის პროცენტი;

ა-მანგანუმის, კონცენტრტიდან
გადასვლის პროცენტი.



Mn-ის შემცველობა კონცენტრატში, %



Mn-ის შემცველობა კონცენტრატში, %

ნახ. 8. ნიკის (1) და ჭიათურის (2) კონცენტრატებში P/Mn დამოკიდებულება Mn-ის შემცველობაზე; 2,4,5-P/Mn დასაშვები რაოდენობა ფოსფორით სხვადასხვა შემცველობის ფერომანგანუმის (A) და სილიკომანგანუმის (B) გამოსადნობად

კონცენტრატის ხარისხთან მიმართებაში, ფარდობა (P)/(Mn) ძალიან ცვალებადია. ამ გარემოების გათვალისწინებით კონცენტრატის დასახასიათებლად საკმარისი არაა მასში ფოსფორის მხოლოდ აბსოლუტური რაოდენობის განსაზღვრა, არამედ უნდა მიეთითოს მასში ფოსფორის ხვედრითი რაოდენობა. ეს ფარდობა განსაზღვრავს ფოსფორით სტანდარტული შენადნის მიღების შესაძლებლობას და ხსვადასხვა შენადნისათვის შეიძლება იყოს სხვადასხვა. მაგალითად, სასაქონლო სილიკომანგანუმისათვის მასში 0,3-0,35% ფოსფორის შემცველობით, ფარდობა (P)/(Mn) შეიძლება იყოს 0,0038-0,0040, მაშინ როდესაც ლითონური მანგანუმის მისაღებად იგი არ უნდა აღარაბეჭდეს 0,0005.

სხვადასხვა ხარისხის მანგანუმის კონცენტრატებში ფარდობა (P)/(Mn) ცვალებადია და მერყეობს 0,0038-დან 0,009-მდე. შედარებით დაბალი მანჩვენებელი განეკუთვნება მდიდარ, ხოლო მაღალი მანჩვენებელი ღარიბ კონცენტრატებს. ამითაა გამოწვეული დაბალი ხარისხის კონცენტრატების დეფოსფორაციის აუცილებლობა.

არსებობს მანგანუმის კონცენტრატების დეფოსფორაციის მრავალი მეთოდი - ჰიდრომეტალურგიული, ქიმიური და მეტალურგიული. სამრეწველო მასშტაბით ჯერჯერობით მხოლოდ დეფოსფორაციის ელექტრომეტალურგიულ ხერხს იყენებენ.

ჰიდრომეტალურგიული ეწოდება ისეთ მეთოდს, რომლის დროსაც მანგანუმის კონცენტრატი დეფოსფორაციის შემდეგ რჩება მყარ მდგომარეობაში, ხოლო ფოსფორი და სხვა მინარეგები გადადიან ხსნარში.

ქიმიური მეთოდით დეფოსფორაციის დროს ხსნარში გაღადის მანგანუმის მთელი რაოდენობა, რის შემდეგაც ხდება მისი დალექვა.



დეფოსფორაციის მეთოდებს წაეყენებათ შემდეგი მოთხოვნები:

1. დეფოსფორაციის შედეგად მიღებულ პროდუქტში მანგანუმის გამოყენების (ამოკრეფის) მაღალი მაჩვენებელი;
2. საბოლოოდ მიღებულ კონცენტრატში ფოსფორის დაბალი შემცველობა;
3. ტექნოლოგიის და შესაბამისი აპარატურული გაფორმების უბრალოება;
4. გამოყენებული მადეფოსფორირებული რეაგენტის არადეფიციტურობა და სიიაფე;
5. მაღალი წარმადობა;
6. პროცესის უწყვეტობა და მისი ავტომატიზაციის შესაძლებლობა;
7. ნარჩენების მინიმალური რაოდენობა და მისი რეალიზაციის შესაძლებლობა.

ქვემოთ განხილული იქნება მხოლოდ დეფოსფორაციის მეტალურგიული მეთოდი.

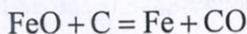
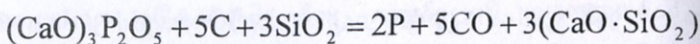
4.5. დეფოსფორაციის მეტალურგიული მეთოდი

ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს მანგანუმის კონცენტრატის აღმდგენელთან ერთად ელექტროლუმელში გადაღნობაში, სადაც აღმდგენელის რაოდენობა გათვლილია ისე, რომ მოხდეს მხოლოდ რკინის და ფოსფორის

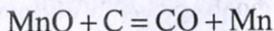
აღდგენა და არ მოხდეს (ან ძალიან მცირე დაოდენობით) მანგანუმის აღდგენა (ე.წ. სელექტური ან ამორჩევითი აღდგენა).

ფოსფორის უკეთ აღდგენისათვის კაზმში შეჰყავთ SiO_2 კვარციტის, ქვიშის, სილიკომანგანუმის წიდის და სხვა სახით.

დნობის პროცესში მიმდინარეობს ფოსფორის და რკინის აღდგენა მისი ნაერთებიდან:



ნაწილობრივ მიმდინარეობს მანგანუმის აღდგენაც (კაზმში შეყვანილი მანგანუმის დაახლოებით 8%) შემდეგი რეაქციით:



აღდგენილი რკინა და მანგანუმი ქმნიან ე.წ. „თანმდევი ლითონს“, რომელშიდაც იხსნება აღდგენილი ფოსფორი. დნობის ძირითადი პროდუქტი – დაბალფოსფორიანი წიდაა, რომელიც გამოიყენება, როგორც ძირითადი საკაზმე ნედლეული მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გამოსადნობად.

„თანმდევი ლითონი“ მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმი, რომელშიდაც ფოსფორის შემცველობა 1,5-4% ფარგლებშია, რის გამოც ის ფართო გამოყენებას ვერ პოულობს (ნაწილობრივ მას იყენებენ ე.წ. ავტომატურ ფოლადებში).

დეფოსფორაციის ელექტრომეტალურგიული მეთოდით წარმართვისათვის იყენებენ მცირე სიმძლავრის (5000 კვა) ან დიდი სიმძლავრის (10000-22500 კვა) ღუმელებს. მცირე სიმძლავრის ღუმელებში დნობა მიმდინარეობს პერიოდულად.

დული პროცესით, ხოლო დიდი სიმძლავრის დუმელებში

- უწყვეტი პროცესით.

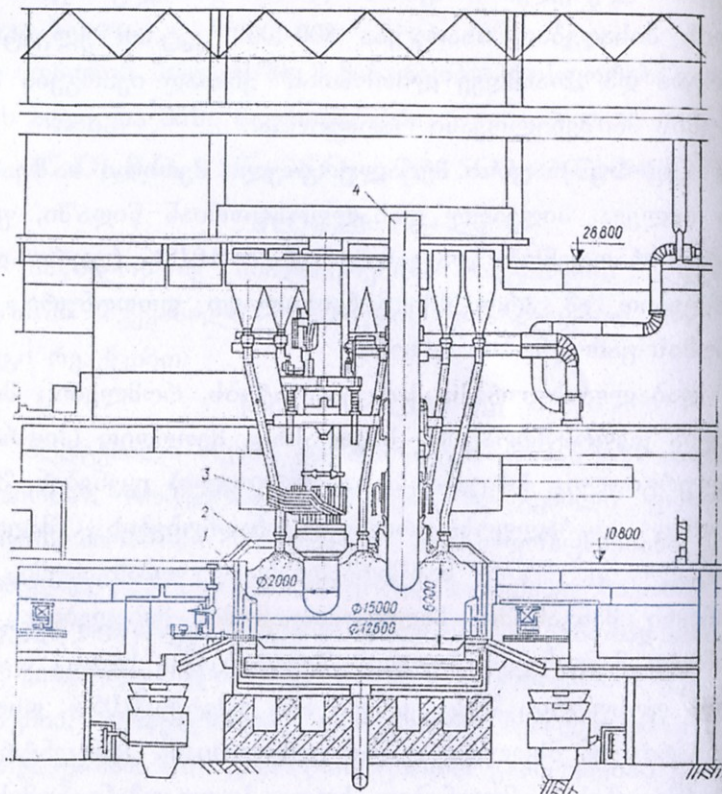
ამ პროცესსაც აქვს გარკვეული სიროულეები და უარყოფითი მხარეები: ისინი საჭიროებენ ცალკე აგრეგატებს (დუმელებს), ერთი ტონა დაბალფოსფორიანი წილის მისაღებად იხარჯება 800-1000 კვტ.სთ ელექტროენერგია და „თანმდევე ლითონთან“ ერთად იკარგება მანგანუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა.

დეფოსფორაციის მეტალურგიული მეთოდი საშუალებას იძლევა, მიღებულ დაბალფოსფორიან წიდაში, ფოსფორის რაოდენობა დაყვანილ იქნას 0.015% (უფრო დაწერილებით ამ პროცესს განვიხილავთ ლითონური მანგანუმის გამოდნობის დროს.)

დაბალფოსფორიან კონცენტრატებს, რომლებიც მიღებულია დეფოსფორაციის სხვადასხვა მეთოდით (ჰიდრომეტალურგიული, ქიმიური, მეტალურგიული) იყენებენ შესაბამისად დაბალფოსფორიანი შენადნობების (მაღალი, საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი, ლითონური მანგანუმი, სილიკომანგანუმი) მისაღებად. ლითონური მანგანუმის მიღების შემთხვევაში, სადაც დასაშვებია ფოსფორის შემცველობა არა უმეტეს 0,05%, დნობას წარმართავენ მხოლოდ დაბალფოსფორიანი კონცენტრატების (წილების) გამოყენებით. ხოლო სილიკომანგანუმის და ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მისაღებად სადაც ფოსფორის შემცველობა დასაშვებია 0,2-0,4% ფარგლებში, დაბალფოსფორიან კონცენტრატებს (წილებს) იყენებენ ნაწილობრივ, კაზმის მადნური ნაწილის 1/2 ან 1/3.

ამრიგად, უმეტეს შემთხვევაში, არაა აუცილებელი

დნობაში გამოყენებული მთელი მანგანუმის კონცენტრატების დეფოსფორაცია, არამედ ასეთი კონცენტრატები უნდა გამოვიყენოთ მხოლოდ ნაწილობრივ, ფოსფორით სტანდარტული შენადნობების მისაღებად.



ნახ. 9. მანგანუმიანი ფეროშენადნობების სადნობი 75 მეა სიმძლავრის მადანადმღვენი მრეკალი, ჰერმეტიკული ელექტროდუმელი:

- 1 - ღუმელის კედლის ნახშირის ბლოკები; 2 - თალი; 3 - მოკლე ქსელი; 4 - ელექტროდი

თავი 5. ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება



ნახშირბადის შემცველობის მიხედვით ფერომანგანუმის გვაქვს სამი ჯგუფი: მაღალნახშირბადიანი (7%-მდე C), საშუალონახშირბადიანი (1-2% C) და დაბალნახშირბადიანი (0,5% C). ნახშირბადის კონცენტრაცია შენაღნში დამოკიდებულია მხოლოდ მისი მიღების მეთოდზე. მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმი მიიღება ბრძმედებში და ელექტროლუმელებში ნახშირბადთერმული მეთოდით, ხოლო საშუალო და მცირენახშირბადიანი კი – ელექტროსილიკოთერმული მეთოდით.

ისტორიულ ასპექტში, ბრძმედებში ფერომანგანუმის მიღება დაიწყო მე-19 საუკუნის 80-იან წლებში და მისი მიღების ტექნოლოგია საკმაოდ დახვეწილი და ათვისებულია. მას გააჩნია რიგი ნაკლოვანებებისა (იგი საჭიროებს დეფიციტური და ძვირადღირებული მეტალურგიული კოქსის გაზრდილ რაოდენობას), რის გამოც მისი წარმოება ბრძმედებში თანდათან იკლებს და ახლო მომავალში ფერომანგანუმი მთლიანად გამოდნობილი იქნება ელექტროლუმელებში. ქვემოთ განხილული იქნება მხოლოდ ელექტროთერმული ფერომანგანუმის მიღების ტექნოლოგია.

ელექტროთერმული ფერომანგანუმი ქიმიური შედგენილობის მიხედვით რეგლამენტირებულია სტანდარტების მეშვეობით, რომლებიც შემდეგია:

ქიმიური შედგენილობა
 ემცსური, %
 სიჩქარე

მარკა	Mn	C	Si	P	S
დაბალნახშირბადიანი	არანაკლები		არაუმეტეს		
ΦMn0,5	85,0	0,5	2,0	0,30	0,03
საშუალო ნახშირბადიანი					
ΦMn1,0A	85,0	1,0	1,54	0,10	0,03
ΦMn1,0	85,0	1,0	2,0	0,30	0,03
ΦMn1,5	85,0	1,5	2,5	0,30	0,03
ΦMn2,0A	75,0	2,0	2,0	0,35	0,03
მაღალ ნახშირბადიანი					
ΦMn78A	78,0-82,0	7,0	2,0	0,05	0,03
ΦMn78K	78,0-82,0	7,0	1,0	0,35	0,03
ΦMn78	78,0-82,0	7,0	2,0	0,35	0,03
ΦMn75AC6	75,0	7,0	6,0	0,05	0,03
ΦMn75C4	75,0	7,0	4,0	0,45	0,03
ΦMn75C9	75,0	6,0	9,0	0,45	0,03
ΦMn75	75,0	7,0	1,0	0,45	0,03
ΦMn70	75,0	7,0	2,0	0,55	0,03

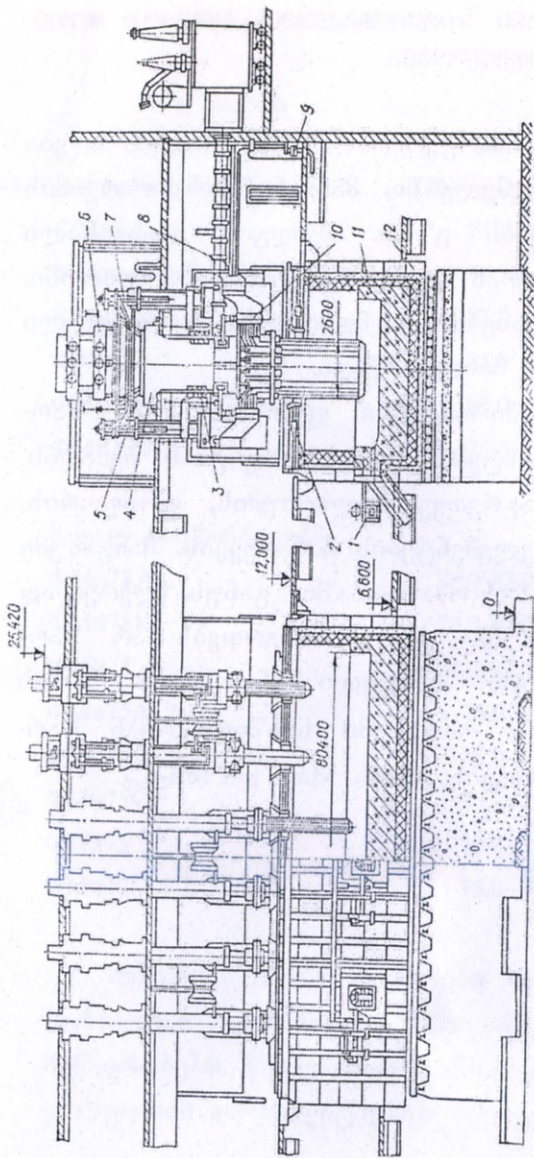
შენიშვნა: A და K ასოები საშუალო და მაღალნახშირბადიან ფერომანგანუმში მიგვითითებენ, რომ ამ შენადნობებს წაეყენებათ განსაკუთრებული მოთხოვნები ფოსფორის და სილიციუმის შემცველობის მიხედვით.

5.1. მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ელექტროლუმ-
ლებში მიღების ტექნოლოგია



მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება ხდება დიდი სიმძლავრის ღუმელებში, მანგანუმის და რკინის ნახშირბადით აღდგენის გზით. შემდგომ აღდგენილი ელემენტები ერთმანეთთან შედნება და მიიღება ლითონი, ხოლო მადნის ფუჭი ქანების და მდნობების შემადგენელი ოქსიდების გაღობით მიიღება წილა.

სამრეწველო ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი წარმოადგენს Mn-Fe-C სისტემის სამკომპონენტო შენადნს, რომელიც შეიცავს აგრეთვე სილიციუმის, ფოსფორის, გოგირდის და სხვა ელემენტების მინარევებს. მანგანუმი და რკინა თხევად მდგომარეობაში განუსაზღვრელად იხსნება ერთმანეთში და ქიმიურ ნაერთებს არ წარმოქმნიან. 80% მანგანუმის შემცველი შენადნობის დნობის ტემპერატურაა 1277°C . მანგანუმი ნახშირბადთან წარმოქმნის მტკიცე კარბიდებს: Mn_7C_3 , Mn_3C და Mn_{23}C_6 .



ნახ. 10. ნახშირბადიანი ფერმინგანუშის სადნობი **ПН3-63** ტიპის, 63მეა სიმძლავრის მანქანის დასადგენი სწრაფი, დახურული ელექტროლიუმელი:

- 1 - ხერხის გასაჭრელი აპარატი; 2 - თალი; 3 - ელექტროლის დამკერის ფიქსტორი; 4 - შემამჭიდროებელი; 5 - ჰიდრო სისტემა; 6 - ელექტროდების გადასაშვები მოწყობილობა; 7 - ჰიდროამწე; 8 - მოკლე ქსელი; 9 - წყლით გაცივების სისტემა; 10 - ელექტროდის დამკერი; 11 - ამონაგი; 12 - გარეში.

ნახშირბადიანი ფერომაგანუმის დნობა წარმოადგენს რთულ ფიზიკო-ქიმიურ პროცესს. მანგანუმის და რკინის ოქსიდების ნახშირბადით აღდგენის პარალელურად მიმდინარეობს მათი დისოციაცია და ირიბი აღდგენა, ხდება აგრეთვე კარბონატების დაშლა. ქვემოთ მოცემულია ის რეაქციები რომლებიც მიმდინარეობენ ღუმელის ზედა ჰორიზონტებში:

რეაქციები	თბური ეფექტი, კ. ჯოული/კგ
$2\text{MnO}_2 + \text{CO} = \text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$	+1178
$3\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{CO} = \text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	+378
$\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{MnO} + \text{CO}_2$	+237
$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$	+117
$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$	-1797
$\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$	-1195
$\text{MnCO}_3 = \text{MnO} + \text{CO}_2$	-1015
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$	-79
$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$	2208
$\text{H}_2\text{O}_{\text{წყალი}} = \text{H}_2\text{O}_{\text{ორთქლი}}$	2253

ოქსიდების დისოციაცია და ირიბი აღდგენა ზემოთ უკვე განხილული იყო, ამიტომ ქვემოთ ჩვენ განვიხილავთ მანგანუმის სილიკატებიდან და MnO-დან პირდაპირი აღდგენის რეაქციებს, რომლებიც გადამწყვეტ როლს თა-

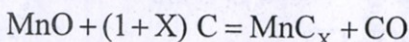
მაშობენ ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღების პროცესში.

მანგანუმის ორვალენტიანი ოქსიდი MnO რომელიც წარმოიქმნება ღუმელის აბაზანაში, როგორც მანგანუმის მაღალი ოქსიდების ირიბი აღგენის და კარბონატების დაშლის პროდუქტი, როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, ლითონამდე (კარბიდამდე) შესაძლებელია აღდგეს მხოლოდ მყარი ნახშირბადით:



მოცემული რეაქციების აღდგენის საწყისი ტემპერატურები შეადგენს შესაბამისად 1410 და 1223°C.

სხვა გამოკვლევებით, MnO -ს აღდგენა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



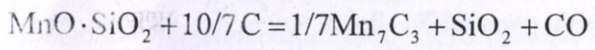
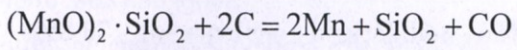
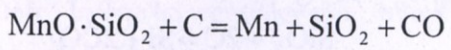
$$\Delta G_T^0 = 196293 - 123T$$

$P_{CO} = 0,1$ მპა და $\Delta G = 0$ ე.ი. აღდგენის საწყისი ტემპერატურა შეადგენს 1324°C რადგანაც ფერომანგანუმი შეიცავს 7%-მდე ნახშირბადს, შესაძლებელია ვიფიქროთ, რომ შენადნობი ძირითადად შეიცავს $(Mn, Fe)_7C_3$ ტიპის კარბიდებს.

მანგანუმის აღდგენა მნიშვნელოვნად იზრდება კაზმში რკინის არსებობის შემთხვევაში. მანგანუმის კონცენტრატებში ყოველთვის გვაქვს ადვილად აღდგენადი რკინის ოქსიდები.

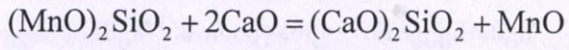
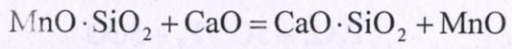
როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მანგანუმის კონცენტრატებში სხვა მინერალებთან ერთად შესაძლებელია

იყოს მანგანუმის სილიკატები - (Mn, Ca) SiO₃. გარდა ამისა დნობის პროცესში 1200-1250⁰C MnO ინტენსიურად რეაგირებს ფუჭი ქანების და კვარცის მარცვლებში არსებულ SiO₂-თან, წარმოიქმნება თხევადი (წიდის) ფაზა, რომელიც ძირითადად შედგება მანგანუმის სილიკატებისაგან (MnO)·SiO₂ (როდონიტი) და (MnO)₂·SiO₂ (ტეფროიტი), რომელთა დნობის ტემპურატურა შესაბამისად ტოლია 1291 და 1345⁰C. ამიტომ მანგანუმის აღდგენა, თხევადი ფაზის გაზრდასთან ერთად, მნიშვნელოვანწილად სილიკატებიდან მიმინარეობს:



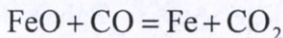
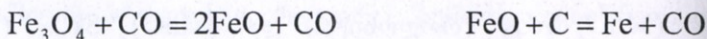
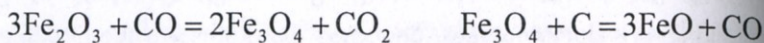
მანგანუმის სილიკატების წარმოქმნა გარკვეულწილად აფერხებს მანგანუმის აღდგენას, მაგრამ 1500-1600⁰C მანგანუმი სილიკატებიდანაც პრაქტიკულად სრულად აღდგება. ამასთან, მანგანუმის აღდგენა 1500⁰C ტეფროიტიდან უფრო ადვილად მიმინარეობს, ვიდრე როდონიტიდან.

წიდაში CaO და MgO არსებობა ხელს უწყობს და აადვილებს მანგანუმის სილიკატებიდან აღდგენის პროცესს (იზრდება MnO-ს აქტივობა).

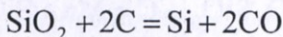


უფრო ძლიერი ფუძით ჩანაცვლება იწვევს MnO-ს აქტივობის გაზრდას, რომელიც შემდგომ აღდგება ნახშირბადით ზემოთ აღწერილი სქემის მიხედვით.

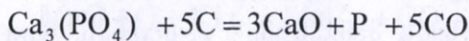
ღუმელში მანგანუმის აღდგენასთან ერთად CO-თი და მყარი ნახშირბადით, პრაქტიკულად სრულად აღდგება რკინა. 570°C -ზე მაღლა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციები:



ნახშირბადიანი ფერმანგანუმის გამოღობის პროცესში მცირე რაოდენობით, მაგრამ მაინც, მყარი ნახშირბადით აღგება სილიციუმში:

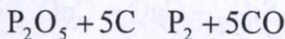
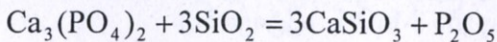


კაზმში არსებული ფოსფორის 70-85% აღდგება და გადადის ლითონში. მისი აღდგენა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



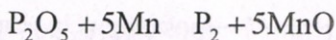
ეს რეაქცია მიმდინარეობს უკვე მყარ ფაზაში 1000°C ტემპერატურაზე მაღლა.

SiO_2 -ის არსებობა ხელს უწყობს ფოსფორის აღდგენას, რადგანაც იგი კალციუმის ფოსფატიდან გამოაძეებს P_2O_5 :



ამ შემთხვევაში ფოსფორის შემსაძინევი აღდგენა მიმდინარეობს უკვე 900°C .

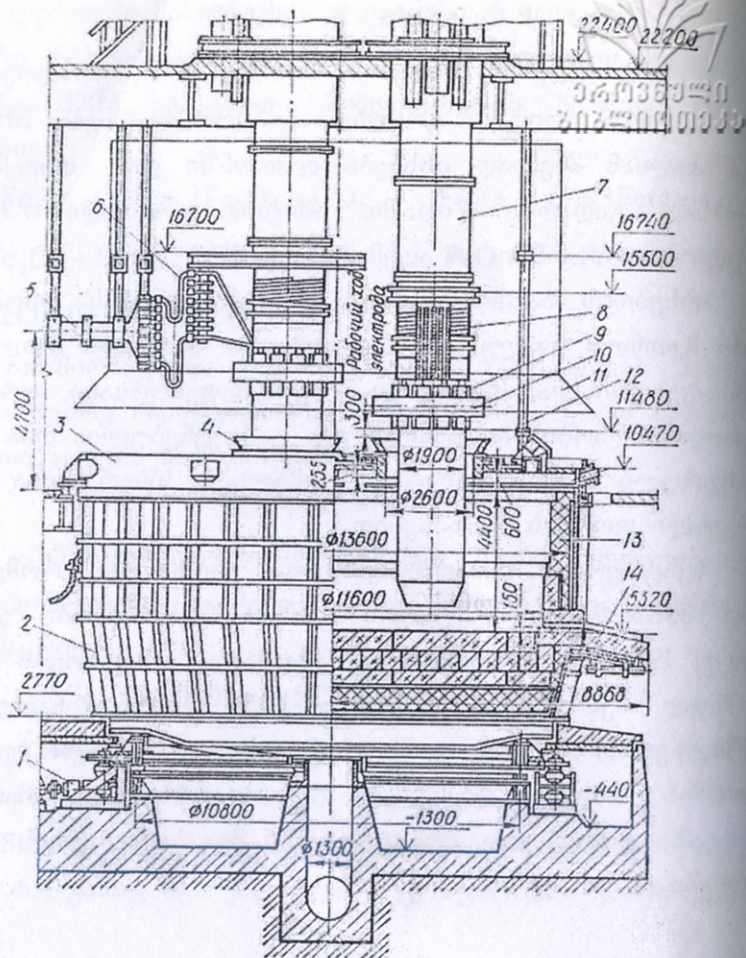
ფოსფორის აღგენა თხევადი ლითონიდან შესაძლებელია აგრეთვე მანგანუმით:



ფერომანგანუმის მიღების პროცესში გოგირდოვანი ნაერთებიდან აღდგება გოგირდი და წარმოიქმნება MnS . იგი ძალიან ძნელად იხსნება ლითონში და თითქმის მთიანად გადადის წიდაში. ამიტომ გოგირდის შემცველობა ლითონში არ აღემატება 0,03%.

არსებობს ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის დნობის ორი მეთოდი: უფლუსო და ფლუსიანი. პირველი მეთოდი ორსაფეხურიანია, მეორე კი - ერთსაფეხურიანი. ორივე მეთოდით დნობის ჩასატარებლად გამოყენებულია ღია და დახურული ტიპის სამფაზა ღუმელები სწორკუთხა ან მრგვალი ფორმის აბაზანებით.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში, რომელმაც ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა ჯერ კიდევ 1933 წელს დაიწყო და ამჟამადაც აწარმოებს აღნიშნულ შენადნს, დადგმულია 11150 კვა ნომინალური სიმძლავრის ძველი კონსტრუქციის ღია, სწორკუთხა ფორმის სამფაზა ღუმელები (№1 საამქრო) და ახალი სამფაზა დახურული, მრგვალი, 22,5 მვა სიმძლავრის ღუმელები (№4 საამქრო).



ნახ. 11. მრგვალი, დახურული მადანადმდგენელი ელექტროლუმელი. PK3-63.

- 1 - აბაზანის საბრუნო მექანიზმი; 2 - ღუმელის გარცემი; 3 - ღუმელის თალი; 4 - ჩამტვირთი ძაბრი; 5 - მოკლე ქსელი; 6 - მეორადი დენმიმყვანის დრეკადი კაბელები; 7 - ელექტროდის საყრდენი გარცემი; 8 - მეორადი დენმიმყვანი; 9 - საკონტაქტო ყბები; 10 - დამჭერი რგოლი; 11 - ზონტი; 12 - თალის დამჭერი; 13 - აბაზანის ამონაგი; 14 - გამოსშევი ხერევი



მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით მიღების თავისებურება მდგომარეობს იმაში, რომ კაზმში არ შეჰყავთ ფლუსი (კირი), ხოლო აღმდგენელი კაზმში მიეწოდება იმ რაოდენობით, რომ ფერომანგანუმთან ერთად მიღებული იქნას მანგანუმით მდიდარი დაბალფოსფორიანი წიდა ($36-41\% \text{ Mn}$ და $0,01-0,02\% \text{ P}$). ასეთი შედგენილობის წიდა გამოიყენება სასაქონლო ან გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის მისაღებად, რომელშიდაც ფოსფორის შემცველობა არ აღემატება $0,1\%$.

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის, მანგანუმით მდიდარი დაბალფოსფორიანი წიდა, გამოიყენება აგრეთვე საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მისაღებად.

დნობის უფლუსო მეთოდი შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ მაღალხარისხოვანი კონცენტრატების არსებობის შემთხვევაში, სადაც მანგანუმის შემცველობა უნდა იყოს არანაკლები 45% და $\%P/\%Mn$. კაზმში - არა უმეტესი $0,0036$.

დაბალხარისხოვანი მანგანუმის კონცენტრატების გამოყენება, რომლებიც შეიცავენ SiO_2 -ის დიდ რაოდენობას, ასეთი პროცესისათვის შეუძლებელია, რადგანაც უკვე დნობის პირველ სტადიაზე აღდგება სილიციუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა და მისი შემცველობა ნახშირბადიან ფერომანგანუმში გადააჭარბებს სტანდარტით დასაშვებ რაოდენობას.

მაღალფოსფორიანი კონცენტრატების გამოყენების შემთხვევაში აუცილებელია კაზში დაბალფოსფორიანი წილების შეყვანა.

განვიხილოთ მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით დნობა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის პირობებში. დნობა წარმოებს სწორკუთხა და მრგვალი ტიპის სამფაზა ღია ღუმელებში. კაზმის შემადგენლობაში შედის: ჭიათურის პირველი ხარისხის მანგანუმის კონცენტრატი, კოქსწვრილა და რკინის ბურბუშელა. კაზმის ერთი ულუფის რაოდენობრივი შედგენილობა შემდეგია:

მანგანუმის კონცენტრატი - 300 კგ

კოქსწვრილა - 60-80 კგ

რკინის ბურბუშელა - 10-20 კგ

ფერომანგანუმის გამოდნობის პროცესი არის უწყვეტი, ლითონის და წილის პერიოდული გამოშვებით. ღუმელი ყოველთვის სავსეა კაზმით და დნობა მიმდინარეობს ე.წ. კაზმით დახურული საკერძის პირობებში. ელექტროდები ჩაფლულია კაზმში 1200-1500 მმ სიგრძეზე. კაზმის გადნობის და საკერძის დონის დაწვევის პარალელურად მიმდინარეობს კაზმის ახალი ულუდების ჩატვირთვა. ცდილობენ კაზმის ჩატვირთვა მოხდეს ძირითადად ელექტროდების გარშემო და შექმნან მის ირგვლივ პატარა კონუსები. ელექტროდების გარშემო ხდება ნამწვი და აღმდგენელი აირების უდიდესი რაოდენობით გამოყოფა, რომლებიც დიდი რაოდენობის CO-ს შეიცავენ.

ამჟამად, ქარხანაში ფერომანგანუმის მისაღებად გამოყენებულ კაზმს არავითარი წინასწარი მომზადება არ

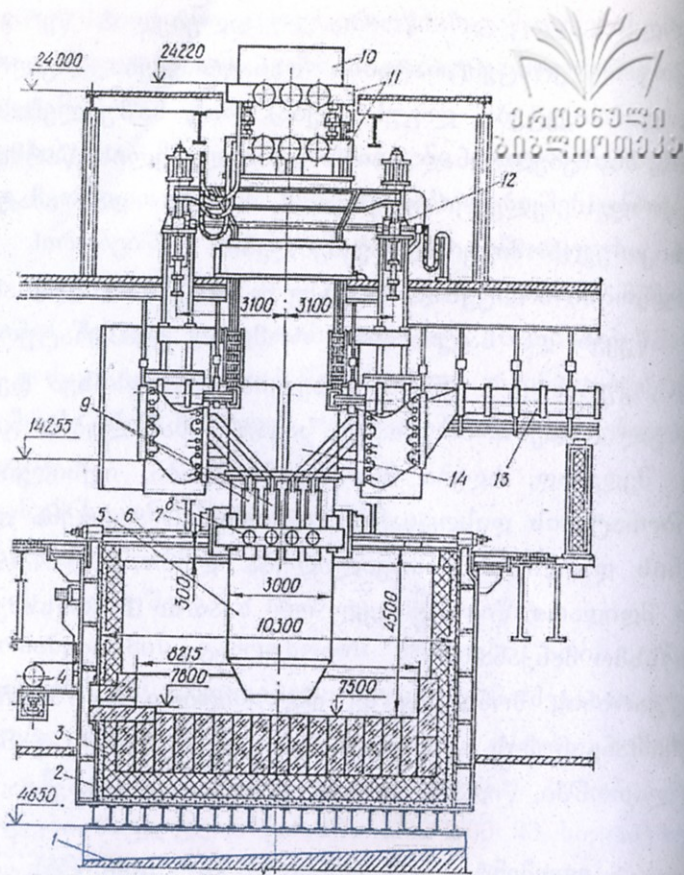
უტარდება, რაც არასწორია. აუცილებელია წვრილმარცვლოვანი კონცენტრატების დანაჭროვნება (აგლომერაცია, დაბრიკეტება, დაგუნდავება), რაც საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ღუმელის წარმადობა, შემცირდეს ელექტროენერჯის ხარჯი და ამადღეს ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

ღნობის პროცესში საკაზმე მასალები თანდათან დაბლა იწვევენ და საკერძიდან, რომლის ტემპერატურა 100-300°C, ქურამდე - 1500°C, გაივლიან სხვადასხვა ტემპერატურულ ზონებს. ამ გზაზე, საკაზმე მასალების გახურების შედეგად, ხდება მათი გამოშრობა, ოქსიდების და კარბონატების დისოციაცია, ოქსიდების აღდგენა და ლითონის და წილის ჩამოყალიბება. ლითონი და მანგანუმით მდიდარი წიდა ყოველ ორ საათში ჩამოისხმება საჩამოსხმო მანქანაზე.

ქარხნის მონაცემებზე დაყრდნობით, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას, ელემენტების განაწილება ლითონში, წიდაში და აირად ფაზაში შემდეგია:

ელემენტების გადასვლის ხარისხის (%):

<u>ელემენტი</u>	<u>ლითონში</u>	<u>წიდაში</u>	<u>აირად ფაზაში</u>
მანგანუმი	60-62	28-30	10
სილიციუმი	8-10	90-92	—
რკინა	95	5	—
ფოსფორი	70	3-5	25
გოგირდი	1	60	39



ნახ. 12. სწორკუთხა, ელექტროდიანი პერმეტული ღუმელი - ПП3-63:

- 1 - საძირკველი; 2 - ღუმელის გარცმი; 3 - აბაზანის ამონაგი;
- 4 - ხერელის გატრის მექანიზმი; 5 - ელექტროდი;
- 6 - ღუმელის თაღი; 7 - ელექტროდის დამჭერის შემიწროებელი; 8 - დამჭერი რგოლი; 9 - საკონტაქტო ყბები;
- 10 - ელექტროდის გარცმი; 11 - ელექტროდის გადამშვები მექანიზმი; 12 - ჰიდროამწე; 13 - მოკლე ქსელი;
- 14 - ელექტროდის საყრდენი გარცმი.

მდიდარი გადსამუშავებელი წილის შედგენილობა (%):

<u>Mn</u>	<u>SiO₂</u>	<u>CaO</u>	<u>FeO</u>	<u>P</u>
37-42	29-31	7-9	1	0,01-0,02
<u>C</u>	<u>Al₂O₃</u>	<u>MgO</u>	<u>S</u>	
0,3-0,5	6-8	2-3	1,2-1,5	



წილის ჯერადობა შეადგენს დაახლოებით 1,2. მანგანუმის გადსველის ხარისხი ლითონში 61-62%, ხოლო მდიდარი წილის სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში გამოყენების შედეგად, მანგანუმის ჯამური, სასარგებლო გამოყენება აღწევს 83%.

1 ბაზურ ტონა ფერომანგანუმზე საკაზმე მასალების და ელექტროენერჯიის ხარჯი შემდეგია:

მანგანუმის კონცენტრატი - 2520 კგ

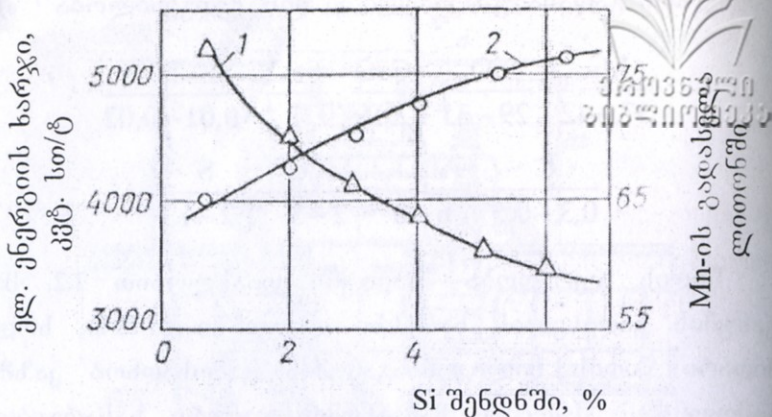
კოქსწვრილა (მშრალი) - 450 კგ

რკინის ბურბუშელა - 110 კგ

ელექტროდის მასა - 29 კგ

ელექტროენერჯია - 3200 კვტ.სთ

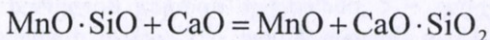
უნდა აღინიშნოს, რომ მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღების უფლუსო მეთოდის გამოყენებას მაშინ აქვს აზრი, როდესაც მთლიანად ხდება მიღებული, მანგანუმით მდიდარი გადსამუშავებელი წილის გამოყენება.



ნახ. 13. ელ. ენერჯის (1) და Mn-ის გადასვლის (2) დამოკიდებულება ფერომანგანუმში Si-ის შემცველობაზე

5.3. დნობა ფლუსიანი მეთოდით

დნობა ფლუსიანი მეთოდით გულისხმობს იმას, რომ ფერომანგანუმის გამოსადნობ კაზმში შეჰყავთ ფლუსები (კირი, კირქვა, დოლომიტი). ფლუსების დანიშნულებაა, წიდაში კაუმიწასთან ნაერთების სახით არსებული MnO-ს აქტიურობის გაზრდა, რაც საბოლოოდ სელს უწყობს მანგანუმის უფრო ღრმა და სრულ აღდგენას.



მანგანუმის აღდგენა მისი ოქსიდებიდან მიმდინარეობს და მთავრდება ერთ ლუმელში, რომლის დროსაც მიიღება სტანდარტული შენადნი და ე.წ. გადასაყრელი წიდა 10-12% მანგანუმის შემცველობით. ჩვეულებრივ, ფლუსიანი მეთოდით ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის დნობისას წიდის

ფუძიანობა მერყეობს საზღვრებში 1,1-1,4, ხოლო მანგანუმის გადასვლა (ამოკრეფა) შენადნში შეადგენს 76-78%.

როგორც ვხედავთ, ამ მეთოდით დნობისას შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას არა მარტო ოქსიდური კონცენტრატები, არამედ კარბონატული კონცენტრატიც, რომლებიც შეიცავენ საკმაოდ მაღალი რაოდენობით (15%-მდე) კალციუმის ოქსიდს (CaO). კარბონატული მადნების გამოყენების შესაძლებლობა ამ მეთოდის დადებითი მხარეა.

დნობის ფლუსიანი მეთოდი ოქსიდური კონცენტრატების გამოყენებით, პირველად 1933 წელს განხორციელდა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში. შემგომ, დიდი სამამულო ომის პერიოდში, იგი იქნა შეცვლილი უფრო პროგრესული უფლუსო მეთოდით.

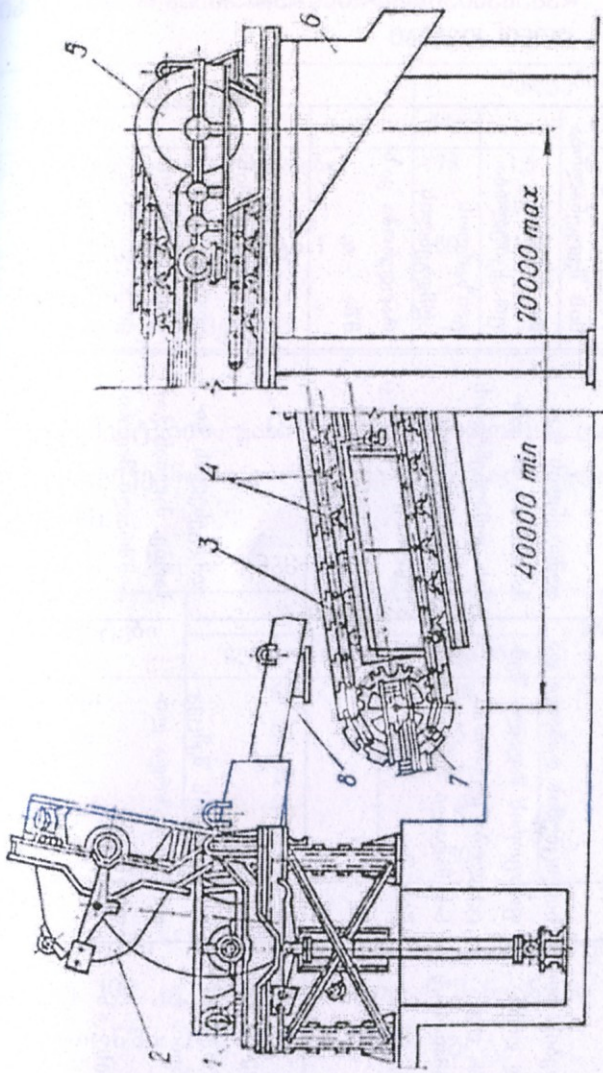
ფერომანგანუმის დნობის მაჩვენებლები, ფლუსიანი და უფლუსო მეთოდით ერთიდაიგივე ნედლეულის გამოყენებით, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის პირობებში შემდეგია:

წარმოების მეთოდი

მაჩვენებლები	ფლუსიანი	უფლუსო
კონცენტრატის ხარჯი	2,282	2,282
1 ტ ფერომანგანუმზე, ტ მანგანუმის ამოკრეფა, %	75	62
ელ. ენერჯის ხვედრითი ხარჯი, კვტ/სთ. ტ	3740	2895
ღუმელის დღეღამური წარმადობა 1000 კვტ სიმძლავრეზე, ტ	6,3	8,8

დნობის თეორიულ და პრაქტიკულ მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ დნობის უფლუსო მეთოდს აქვს აშკარა უპირატესობები ფლუსიან მეთოდთან შედარებით, რაც ძირითადად ელექტროენერგიის ხარჯის შემცირებაში და ღუმელის წარმადობის გაზრდაში გამოიხატება. უფლუსო მეთოდით დნობისას მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში შედარებით დაბალია 62%, მაგრამ მანგანუმით მდიდარი, დაბალფოსფორიანი წიდეების გამოყენება სილიკომანგანუმის გამოსადნობად საშუალებას იძლევა ეს მაჩვენებელი 81-83%-მდე გაეზარდოს, რაც მნიშვნელოვნად მაღალია ფლუსიან მეთოდთან შედარებით (74-78%). ეს მიდგომა სამართლიანია მოლოდ მაღალხარისიანი კონცენტრატების გამოყენების შემთხვევაში (არანაკლებ 45% Mn). ფერომანგანუმის გამოდნობა უფლუსო მეთოდით, დაბალხარისხოვანი ოქსიდური და კარბონატული კონცენტრატებიდან გაძნელებულია ძირითადად ორი მიზეზის გამო: კაჟმიწის დიდი რაოდენობით შემცველობა კონცენტრატში იწვევს სილიციუმის რაოდენობის გაზრდას შენადნში, ხოლო ფოსფორის შემცველობით სტანდარტული ლითონის მიღება შესაძლებელია მხოლოდ კაზმში დაბალფოსფორიანი მანგანუმის შემცველი ნედლეულის (წიდეების) გამოყენებით.

ამიტომ მდიდარი, ოქსიდური კონცენტრატების გამოყენების შემთხვევაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ დნობის უფლუსო მეთოდი, ხოლო კარბონატული და დაბალხარისხიანი ოქსიდური კონცენტრატების გამოყენების შემთხვევაში დნობა უნდა ვაწარმოოთ ფლუსიანი მეთოდით.



ნახ. 14: ფეროუნადობების ჩამოსახმელი კონვერული მანქანა:

1 - ამირავებელი მოწყობილობა; 2 - ციცხვი; 3 - კონვერის ჯაჭვი; 4 - საყრდენი გორგოლატები; 5 - ამირავე; 6 - ჩამომყრელი; 7 - დამჭიმავე მექანიზმი; 8 - დერი

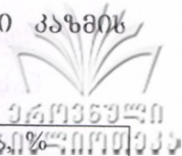


5.4. ნახშირბადიანი უპრომანგანუმიზ ბამოღნობის პრუცესში
 უმეჩნეული დამახასიათებელი დარღვევები და მისი
 აღმოფხვრის ღონისძიებები

ეროვნული
 გეოლოგიური

გარეგანი ნიშნები	ლითონის და წილის შედგენილობის ცვლი- ლება	მიზეზი	აღმოფხვრის ღონისძიებები
ელექტროდების ზო- მაზე მეტად ღრმა მდებარეობა, დუ- მელის წარმადობის შემცირება	სილიციუმის დაბალი და ფოსფორის მაღალი შემ- ცველობა ლითონში. ნ-ს მაღალი შემცველობა წიდაში.	აღმდგენლის უკ- მარისობა, ან კაზ- მის კომპონენტების ფრაქციულობის ცვლილება.	შემოწმდეს კაზ- მის შედგენილობა და მისი ფრაქციულობა. გაიზარდოს აღმდგენლის რაოდენობა კაზ- მში.
ელექტროდების მაღალი მდებარეობა, ამოტვორცნები, მას- განუმის აორთქლების კაზ- რდა.	სილიციუმის შემცვე- ლობის გაზრდა ლი- თონში.	აღმდგენლის სი- კარბე, ძალიან გა- მომშრალი მადანი.	მოხდეს კაზმის კორექცია და შემ- ცირდეს მასში კოქსწერილას რაოდენობა.

5.5. ნახშირბადიანი ფერომაგნანუმის გამოსადგნობი კაზმის ანგარიში (უზღუდო მეთოდი)



მასალები	შედგენილობა, %				
	Mn	Si	C	Fe	P
ნახირბ. ფერომაგ. (შენადნი)	78	1,5	6,5	14	0,35
მანგანუმის კონცენტრატი I ხ.	50	11,0	—	—	0,15
კოქსწვრილა	—	—	80	—	—
ფოლადის ბურბუშელა	—	—	—	95	—

ელემენტების განაწილება ლითონსა და წიდას შორის აგრეთვე მათი აირად ფაზაში გადასვლა მოცემულია ცხრილში.

ელემენტები	გადასვლა, %		აქროლდება, %
	ლითონში	წიდაში	
Mn	62	28	10
Fe	95	5	—
Si	10	90	—
P	70	5	25
S	—	50	50

ანგარიში წარმოებს 100 კგ მანგანუმის კონცენტრატზე. 100 კგ კონცენტრატიდან მანგანუმი გადადის:

ლითონში: $100 \cdot 0,5 \cdot 0,62 = 31$ კგ;

აქროლდება $100 \cdot 0,5 \cdot 0,1 = 5$ კგ.

მიიღება ფერომაგნანუმი (78% Mn)

$31 : 0,78 = 39,74$ კგ.



შენადნი შეიცავს:

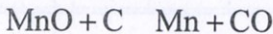
ნახშირბადს - $39,74 \cdot 0,065 = 2,58$ კგ;

სილიციუმს - $39,74 \cdot 0,015 = 0,60$ კგ;

ფოსფორს - $39,74 \cdot 0,0035 = 0,14$ კგ.

კონცენტრატის ჟანგეულების აღსადგენად საჭიროა ნახშირბადი:

36 კგ Mn-ის აღსადგენად (ლითონი+აქროლადი) რეაქციით:



$$\frac{36 \cdot 12}{55} = 7,85 \text{ კგ}$$

0,6 კგ. სილიციუმის აღსადგენად რეაქციით $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$

$$\frac{0,6 \cdot 24}{28} = 0,51 \text{ კგ};$$

0,14 კგ ფოსფორის აღსადგენად, რეაქციით $\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{C} = 2\text{P} + 5\text{CO}$

$$\frac{0,14 \cdot 60}{62} = 0,14 \text{ კგ.}$$

სულ საჭიროა ნახშირბადი 10% სიჭარბით (იწვის საკერძეზე)

$$(7,85 + 2,58 + 0,51 + 0,14) \cdot 1,1 = 12,1 \text{ კგ.}$$

$$\text{ან მშრალი კოქსი } \frac{12,1}{0,8} = 15,1 \text{ კგ.}$$

რკინა უნდა იყოს შენადნში

$$39,74 \cdot 0,14 = 5,56 \text{ კგ.}$$

ამისათვის აუცილებელია რკინის ბურბუშელა
 $5,56:0,95 = 5,85$ კგ.

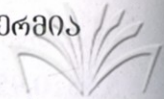
კაზმის შედგენილობა იქნება, კგ:

მანგანუმის კონცენტრატი – 100

კოქსწერილა (მშრალი) – 15,1

რკინის ბურბუშელა – 5,85.



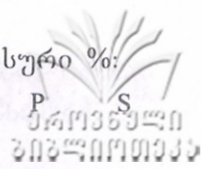


სილიკომანგანუმი არის მანგანუმის და სილიციუმის ფუძეზე დამზადებული კომპლექსური ფეროშენადნობი, რომელიც გამოიყენება სხვადასხვა მარკის ფოლადების განქანგვისა და ლეგირებისათვის. იგი როგორც აღმდგენელი, გამოიყენება აგრეთვე სილიკოთერმული მეთოდით საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის და ლითონური მანგანუმის მისაღებად. სილიკომანგანუმი შეიძლება იყოს სასაქონლო და გადასამუშავებელი. განსხვავება მათ შორის არის ის, რომ გადასამუშავებელ სილიკომანგანუმს წაეყენება განსაკუთრებული მოთხოვნები მასში ნახშირბადის, ფოსფორის და რკინის შემცველობის თვალსაზრისით.

ფოლადების ხარისხის გაუმჯობესება, ფეროსილიციუმის სილიკომანგანუმით შეცვლის შემთხვევაში, განაპირობებს ამ შენადნის წარმოების მოცულობის ზრდის მაღალ ტემპებს.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით სილიკომანგანუმი უნდა აკმაყოფილებდეს სტანდარტების მოთხოვნებს. ამჟამად მოქმედებაშია ორი სახის სტანდარტი: პირველი (ГОСТ), რომელიც მოქმედებს პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში (საქართველო, უკრაინა, რუსეთი) და მეორე – საერთაშორისო სტანდარტი (ISO). სილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა ორივე სტანდარტის მიხედვით მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილებში.

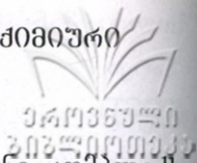
სილიკომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა, მასური %:



მარკა (ГОСТ)	Si	Mn	C	P	S
	არა ნაკლები		არა უმეტესი		
MHC25(PA)	არანაკლები 25	60,0	0,5	0,05	0,02
MHC25(PB)	არანაკლები 25	60,0	0,5	0,25	0,02
MHC22(PA)	20,0-25,0	65,0	1,0	0,10	0,02
MHC22(PB)	20,0-25,0	65,0	1,0	0,35	0,02
MHC17(PA)	15,0-20,0	65,0	2,5	0,10	0,02
MHC17(PB)	15,0-20,0	65,0	2,5	0,60	0,02
MHC12(PA)	10,0-15,0	65,0	3,5	0,10	0,02
MHC12(PB)	10,0-15,0	65,0	3,5	0,60	0,02

მარკა (ISO)	Mn	Si	C	P	S
	არა ნაკლები		არა უმეტესი		
FeMnSi12	60,0-75,0	10,0-15,0	3,5	0,35	0,03
FeMnSi18	60,0-75,0	15,0-20,0	2,5	0,35	0,03
FeMnSi18LP	60,0-75,0	15,0-20,0	2,5	0,15	0,03
FeMnSi22HP	60,0-75,0	20,0-25,0	1,6	0,30	0,03
FeMnSi22MP	60,0-75,0	20,0-25,0	1,6	0,15	0,03
FeMnSi22LP	60,0-75,0	20,0-25,0	1,6	0,10	0,03
FeMnSi23HP	65,0-75,0	20,0-25,0	1,0	0,30	0,03
FeMnSi23MP	65,0-75,0	20,0-25,0	1,0	0,15	0,03
FeMnSi23LP	65,0-75,0	20,0-25,0	1,0	0,10	0,03
FeMnSi28	65,0-75,0	25,0-30,0	0,5	0,20	0,03
FeMnSi28LP	65,0-75,0	25,0-30,0	0,5	0,10	0,03
FeMnSi30HP	57,0-67,0	28,0-35,0	0,1	0,20	0,03
FeMnSi30MP	57,0-67,0				

6.1. სილიკომანგანუმის მიღების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები



სილიკომანგანუმი მრავალკომპონენტური კომპლექსური შენადნობია. ნახშირბადის შემცველობა მასში დამოკიდებულია სილიციუმის კონცენტრაციაზე: რაც მეტია სილიციუმი შენადნოში, მით ნაკლებია მასში ნახშირბადის ხსნადობა. ამ დომოკიდებულების ფიზიკო-ქიმიური არსი ზემოთ იყო განხილული. რამდენადაც, სილიციუმის შემცველობით სტანდარტული შენადნის წარმოქმნა მიმდინარეობს ლითონის ნახშირბადიანი, ნაწილაკების თანდათანობით – ადღეენილი სილიციუმით გამდიდრებით, ამიტომ ლითონის ნაწილაკების შედგენილობა მუდმივად იცვლება, რაც თავისთავად ართულებს სილიკომანგანუმის მიღების ქიმიუმის ზუსტ აღწერას სტექქომეტრული რეაქციებით.

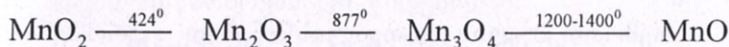
სილიკომანგანუმის მიღების თავისებურება მდგომარეობს მანგანუმის და სილიციუმის ნახშირბადით ერთდროულად ადღეენაში.

სილიკომანგანუმის დნობისას კაზმში გამოყენებულია სხვადასხვა მანგანუმიანი კონცენტრატები, რომლებიც შეიცავენ – MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 და MnO ოქსიდებს და წარმოდგენილია შემდეგი მინერალების სახით: პიროლუიზიტი (MnO_2), ფსილომელანი ($MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$), მანგანიტი $[MnO_2 \cdot Mn(OH)_2]$, ბრაუნიტი (Mn_2O_3), გაუსმანიტი (Mn_3O_4) და სხვა. მანგანუმიანი აგლომერატი ძირითადად შეიცავს გაუსმანიტს, მანგანოზიტს (MnO) და მანგანუმის

სილიკატებს, ძირითადად ტევროიტის ($2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$) სხ-

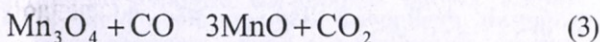
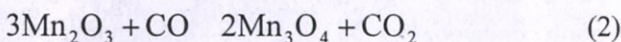
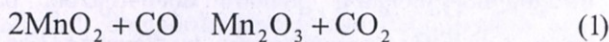
ხით.

როგორც ზემოთ უკვე აღვნიშნეთ, მანგანუმის ოქსიდები ჰაერზე დისოცირდებიან შემდეგი სქემის მიხედვით:



MnO სტაბილურია ძალიან მაღალ ტემპერატურებშიც კი (3000°C).

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად აღდგებიან ნახშირქანგით და მყარი ნახშირბადით:



MnO_2 ნახშირქანგით აღდგენის წონასწორობის კონსტანტა უკვე 500°K აღწევს მაღალ მაჩვენებელს:

$$\lg K_{\text{MnO}_2} = \lg \frac{P_{\text{CO}_2}^2}{P_{\text{CO}}^2} = 45,8$$

Mn_2O_3 აღდგენა შედარებით ძნელად მიმდინარეობს, მაგრამ 800°K მისი წონასწორობის კონსტანტა საკმაოდ მაღალია:

$$\lg K_{\text{Mn}_2\text{O}_3} = \lg \frac{P_{\text{CO}_2}^2}{P_{\text{CO}}^2} = 22,81$$

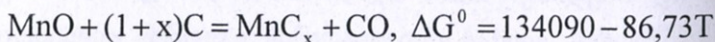
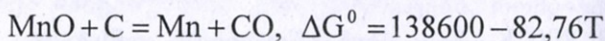
კიდევ უფრო ძნელად აღდგება Mn_3O_4 .

$$\lg K_{\text{Mn}_3\text{O}_4} = \lg \frac{P_{\text{CO}_2}^2}{P_{\text{CO}}^2} = 2,37$$

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 ადვილად აღდგებიან მყარი ნახშირბადით საკმაოდ დაბალ ტემპერატურებში. ამ დროს MnO_2 და Mn_2O_3 აღდგენის პროცესი დისოციაციის პარალელურად მიმდინარეობს.

ზემოთთქმულის გათვალისწინებით ფეროშენადნობთა ღუმელებში, სადაც გვაქვს აღდგენითი ატმოსფერო, უკვე ღუმელის ზედა ჰორიზონტებში $600-800^{\circ}C$ ტემპერატურაზე წერილმარცვლოვან კაზში მიმდინარეობს მანგანუმის მაღალი ოქსიდების აღდგენა MnO -მდე. ბუნებრივია, რომ მსხვილნატეხოვანი კაზმის პირობებში, სადაც აუცილებლად გვექნება დიფუზიური გართულებები, ასეთი რეაქციების მიმდინარეობა ძალიან შენელებულია, ვერ ასწრებენ გავლას ღუმელის მაღალ ჰორიზონტებში და ისინი შეიძლება წარიმართოს და დასრულდეს მხოლოდ ღუმელის დაბალ ჰორიზონტებში.

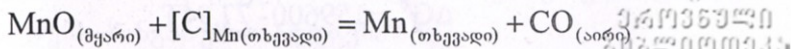
მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ირიბი გზით CO -ს მეშვეობით აღდგებიან MnO -მდე. შემდგომი მისი აღდგენა ირიბი გზით შეუძლებელია და იგი შეიძლება აღვადგინოთ პირდაპირი გზით – მყარი ნახშირბადით:



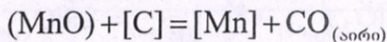
ამ რეაქციებით აღდგენის საწყისი ტემპერატურა Mn -მდე არის $1401^{\circ}C$, ხოლო Mn_7C_3 -მდე $1279^{\circ}C$.

სხვა მონაცემებით, MnO -ს აღდგენა მანგანუმამდე იწყება 1310° . სუფთა MnO -ს შემთხვევაში მისი აღდგენა ძი-

რითადად მიმდინარეობს მყარი ფაზიდან თხევად ლითონში არსებული ნახშირბადით:



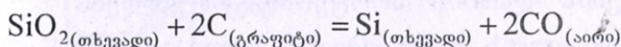
სოლო მადანში არსებული MnO-ს აღდგენა მიმდინარეობს ადვილადწარმოქმნადი წიდეებიდან:



კაზმში რკინის არსებობის შემთხვევაში, რასაც ადგილი აქვს სილიკომანგანუმის დნობის დროს, მანგანუმის აღდგენა მისი ოქსიდებიდან შესამჩნევად ადვილად მიმდინარეობს.

სილიკომანგანუმის მიღების პროცესში მანგანუმის აღდგენასთან ერთად კაზმში არსებული კვარციტიდან, მადნის კაჟმიწიდან და კოქსწერილას ნაცრიდან ხდება სილიციუმის აღდგენა. დადგენილია, რომ კაჟმიწიდან სილიციუმის აღდგენა მიმდინარეობს შუალედური პროდუქტების წარმოქმნით, ესენია: კარბორუნდი – SiC და ადვილად-აორთქლებადი სილიციუმის მონოოქსიდი – SiO.

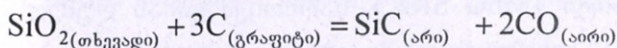
არსებული მონაცემების საფუძველზე, სილიციუმის აღდგენა შეიძლება გამოისახოს შედმგევი რეაქციით:



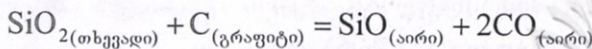
$$\Delta G^0 = 167400 - 86,40T$$

რეაქციის საწყისი ტემპერატურა როდესაც

$P_{\text{CO}} = 1$ ატმოსფ. ტოლია 1690:



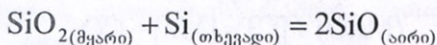
$$\Delta G^0 = 153720 - 81,96T$$



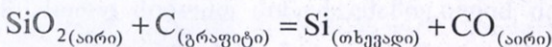
$$\Delta G^0 = 159600 - 77,94T$$

რეაქციის საწყისი ტემპერატურა,

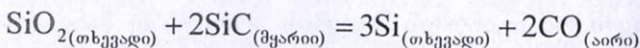
$$P_{\text{CO}} + P_{\text{SiO}} = 1 \text{ ატმ. შეადგენს } 1730^{\circ}\text{C:}$$



$$\Delta G^0 = 121430 - 52,87T$$



$$\Delta G^0 = 7800 - 8,46T$$



$$\Delta G^0 = 194760 - 95,28T$$

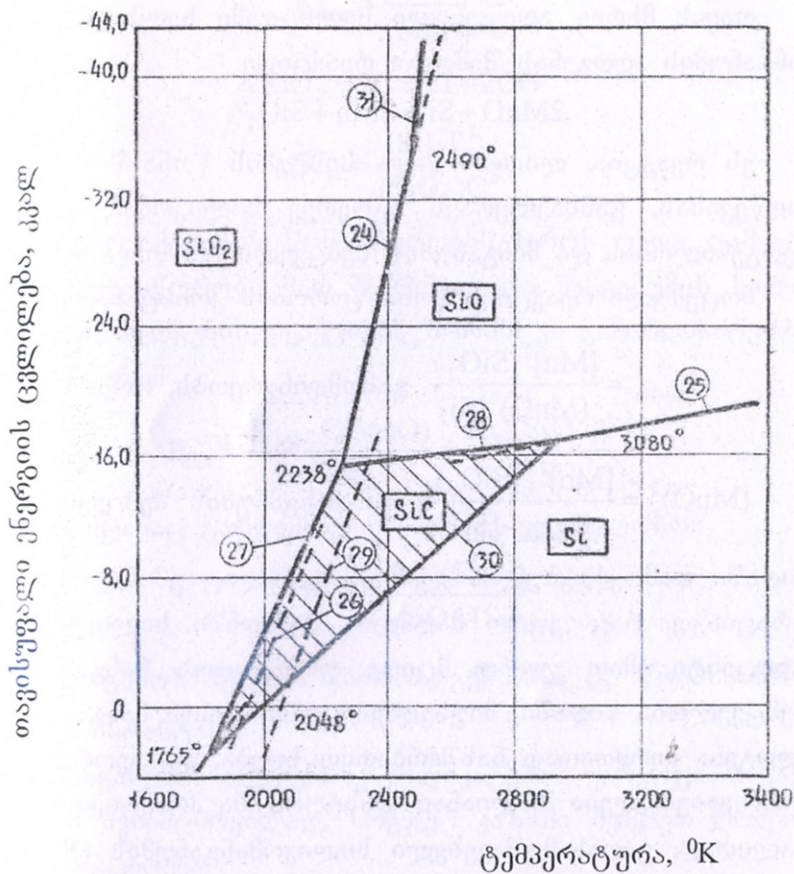
რეაქციის საწყისი ტემპერატურა 1730°C .

ნახ.15-ზე მოცემულია სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის რეაქციებისათვის, თერმოდინამიკული პოტენციალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

ზემოთ მოყვანილი მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის რეაქციები, რომლებსაც ადგილი აქვს სილიკო-მანგანუმის ღნობის პროცესში, რთულდება მანგანუმის და სილიციუმის ოქსიდებიდან სილიკატების წარმოქმნის შემთხვევაში და მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის პროცესების ურთიერთ ზეგავლენის შედეგად.

მანგანუმის სილიკატები: ტეფროიტი $(\text{MnO})_2\text{SiO}_2$ და როდონიტი $(\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2)$ წარმოიქმნებიან ღუმელში დაახლოებით 1200°C ტემპერატურაზე. გარდა ამისა, ამ სილიკატებს შეიცავენ მანგანუმის კონცენტრატები და განსაკუთრებით ისინი ბევრია აგლომერატში, რომელშიდაც

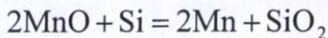
ტეფროიტის რაოდენობა 40% აღწევს. მნიშვნელოვანი რაოდენობით სილიკატების არსებობა უარყოფით გავლენას ახდენს მანგანუმის ადღენაზე.



ნახ. 15. Si-O-C სისტემაში შესაძლებელი ურთიერთქმედებების დროს თავისუფალი ენერჯიის ცვლილების (ΔG^0) დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

აღდგენილი მანგანუმი სილიციუმთან მიმართებაში ასრულებს „დამლექავის“ ფუნქციას, მსგავსად რკინისა ფეროსილიციუმის მიღების დროს, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს სილიციუმის აღდგენას მისი ოქსიდებიდან.

თავის მხრივ, აღდგენილი სილიციუმი ხელს უწყობს მანგანუმის აღდგენას შემდეგი რეაქციით:



ეს რეაქცია, ლითონი-წიდა სისტემის წონასწორობის მიღწევისას, განსაზღვრავს აგრეთვე სილიკომანგანუმის შემდგენილობას და მანგანუმის შემცველობას წიდაში.

მოცემული რეაქციის წონასწორობის კონსტანტიდან

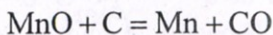
$$K_{\text{Si=Nn}} = \frac{[\text{Mn}]^2 (\text{SiO}_2)}{(\text{MnO})^2 [\text{Si}]}$$

გამომდინარეობს, რომ

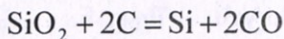
$$(\text{MnO})^2 = \frac{[\text{Mn}]^2 \cdot (\text{SiO}_2)}{K_{\text{Si-Mn}} \cdot [\text{Si}]}, \text{ ე.ი. მანგანუმის შემცველობა}$$

წიდაში დამოკიდებულია ლითონში სილიციუმის კონცენტრაციაზე. რაც უფრო მაღალია შენადნში სილიციუმის პროცენტი, მით უფრო მცირე უნდა იყოს მანგანუმის შემცველობა წიდაში, მიუხედავად იმისა, რომ მანგანუმის აღდგენა ძირითადად ნახშირბადით ხდება. ეს თეორიული დამოკიდებულება მთლიანად დასტურდება პრაქტიკით. მაგალითად, გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის (30%Si) დნობის დროს წიდაში მანგანუმის შემცველობა არ აღემატება 5%, მაშინ, როდესაც სასაქონლო სილიკომანგანუმის (17%Si) შემთხვევაში წიდაში მანგანუმის რაოდენობა აღწევს 14-16% (ზოგჯერ 18-120%). როგორც ეტყობა MnO-Mn-SiO₂-Si-C სისტემაში წონასწორობა მყარდება მხოლოდ

გაშინ, როდესაც მყარდება წონასწორობა შემდეგი რეაქციების:



$$K_{\text{Mn}} = \frac{[\text{Mn}] \cdot P_{\text{CO}}}{(\text{MnO}) \cdot \text{C}}$$



$$K_{\text{Si}} = \frac{[\text{Si}] \cdot P_{\text{CO}}^2}{(\text{SiO}_2) \text{C}^2}$$

ამ რეაქციების წონასწორობის დროს უნდა დამყარდეს წონასწორობა მათ შორისაც და მანგანუმის სილიციუმით აღდგენის რეაქციებს შორის. ეს გამომდინარეობს იქედან, რომ

$$P_{\text{CO}} = \frac{K_{\text{Mn}} \cdot \text{C}(\text{MnO})}{[\text{Mn}]} = \frac{K_{\text{Si}} (\text{SiO}_2) \text{C}^2}{[\text{Si}]}$$

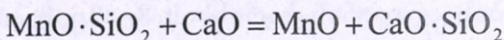
საიდანაც გარდაქმნების შემდეგ ვღებულობთ:

$$\frac{K_{\text{Mn}}}{K_{\text{Si}}} = \frac{[\text{Mn}] \cdot (\text{SiO}_2)}{(\text{MnO}) \cdot [\text{Si}]}$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს $K_{\text{Si-Mn}}$ წონასწორობის კონსტანტას.

მანგანუმის აღდგენაზე სილიკატების უარყოფითი გავლენის შესამცირებლად, ზოგჯერ კაზმში შეჰყავთ დოლომიტი ან კირქვა.

ეს ღონისძიება საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ MnO-ს აქტივობა შემდეგი რეაქციით:



ამ რეაქციის შორს, მარჯვნივ, ღრმად განვითარება უარყოფითად მოქმედებს სილიციუმის აღდგენაზე, რადგანაც კაჟმიწის აქტიურობა ძალიან მცირდება და მაგნიუმის სილიკატების წარმოქმნის შემთხვევაში.

მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კაჟში დოლომიტის შეყვანა, წილის ფუძიანობის

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = 0,4 - 0,5 \text{ მისაღწევად, ზრდის } 17\% \text{Si-იან შე-}$$

ნადნში მანგანუმის სასარგებლო გამოყენებას 3-8%. მაგრამ მცდლობამ, წილის ფუძიანობა გაგვეზარდა 1,0-მდე მოგვცა უარყოფითი შედეგი – სილიკომანგანუმში სილიციუმის შემცველობა შემცირდა 8-10%-მდე. სილიკომანგანუმის დნობის პროცესში, ფლუსების გამოყენების შემთხვევაში, აუცილებელია ამ ვითარების გათვალისწინება.

ზემოთ მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ მანგანუმის აღდგენის საწყისი ტემპერატურა იმყოფება 1310-1420°C ინტერვალში, ხოლო სილიციუმის – 1690°C. ამიტომ MnO-SiO₂ ოქსიდების ნარევი მანგანუმი სილიციუმთან შედარებით უნდა აღდგეს უფრო ადვილად, რაც პრაქტიკაშიდაც დასტურდება.

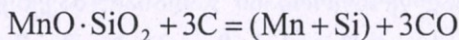
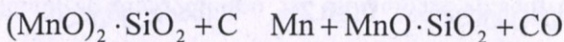
პროფ. ს. როსტოვცევმა, თანამშრომლებთან ერთად შეისწავლა მანგანუმის სილიკატების აღდგენა 1400 და 1500°C ტემპერატურაზე, რისთვისაც სპეციალურად მომზადდა სილიკატები: (MnO)₂ SiO და MnO·SiO. შედეგად მიღებულ იქნა ოქსიდების ნარევის და შესაბამისი სილიკატების აღდგენის ხარისხის მონაცემები.

აღდგენის ხარისხი, %:

	1400°C		1500°C	
სილიკატი	ნარევი	სილიკატი	ნარევი	სილიკატი
$(\text{MnO})_2 \cdot \text{SiO}_2$	53,1	36,9	100	100
$\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	7,8	7,4	41,3	37,0

მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ მდიდარ ნარევებში 1400°C-ზე MnO და SiO₂ ოქსიდების აღდგენა მიდის უკეთესად ვიდრე სილიკატებიდან. ეს მიგვითითებს იმაზე, რომ მოცემულ შემთხვევაში, ნარევებში აღდგენის პროცესი წინ უსწრებს სილიკატების წარმოქმნას (წილის წარმოქმნას). 1500°C-ზე აღდგენა მიმდინარეობს თანაბარი ზომით. მაგრამ როდონიტის სრული აღდგენისათვის საჭიროა უფრო მაღალი ტემპერატურა – 1600°C და მეტი, რომელსაც ადგილი აქვს მხოლოდ სილიკომანგანუმის სადნობი ღუმელის ქვედა პორიზონტებში.

მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ პირველად აღდგება ტეფროიტი, შემდეგ, უფრო მაღალ ტემპერატურებში კი – როდონიტი შემდეგი რეაქციებით:



ამრიგად, ნათელია, რომ კაზმში ერთეულ მანგანუმზე მოსული სილიკატების და დიდი რაოდენობის კაჟმიწის არსებობა აუარესებს მანგანუმის და სილიციუმის აღდგენის ხარისხს.

სასაქონლო სილიკომანგანუმის დნობის მანქანებზე-
ბის შედარებამ, კაზმში აგლომერატის და მადნური ბრი-
კეტების გამოყენებით, თვალნათლივ დაგვანახა, რომ აგ-
ლომერატზე დნობის შემთხვევაში დნობის მანქანებლები
იყო მნიშვნელოვნად უარესი, ვიდრე ბრიკეტების გამო-
ყენების დროს. ეს იმით აიხსნება, რომ აგლომერატი
მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს მანგანუმის სილი-
კატებს.

6.2. სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია

სილიკომანგანუმის გამოდნობა წარმოებს უწყვეტი
პროცესით დიდი სიმძლავრის (10,0-75 მვა), სამფაზა ღია და
დახურული ტიპის ღუმელებში. ღუმელები აღჭურვილია
თვითცხოვადი ნახშირის ელექტროდებით. მისი ქვედი და
კედლები ამოგებულია ნახშირის ბლოკებით, ისე, როგორც
ფერომანგანუმის და ფეროსილიციუმის დნობის შემთხვე-
ვაში.

სილიკომანგანუმის გამოსადნობად, საკაზმე მასალებად
იყენებენ მანგანუმის კონცენტრატებს, მანგანუმის აგლომ-
ერატს, კვარციტს, კოქსწვრილას და ფლუსს (დოლომიტი).

ისეთი სილიკომანგანუმის მიღება, რომელშიდაც ფოს-
ფორის შემცველობა 0,1-0,2%, შესაძლებელია მხოლოდ
მდიდარი, დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდების
გამოყენებით. ასეთი წიდების მიღება ხდება მაღალნახშირ-
ბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით, ან ამ მიზ-
ნისათვის, მათი ცალკე ღუმელებში სპეციალურად გამოდ-
ნობით. ჭიათურის I ხარისხის კონცენტრატის გამოყენებაც

ვერ უზრუნველყოფს დაბალფოსფორიანი (0,1-0,2%) შენადნის მიღებას და ჩვეულებრივ მისი შემცველობა ლითონში 0,3-0,35% ფარგლებშია.

შენადნის
ეროვნული
ნიმუხითება

როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, ფოსფორის შემცველობით, სტანდარტით გათვალისწინებული ნებისმიერი მანგანუმიანი შენადნის მისაღებად კაზმში %P/Mn% არ უნდა აღემატებოდეს გარკვეულ ზღვარს. ასე მაგალითად, სასაქონლო სილიკომანგანუმის მისაღებად, რომელშიდაც ფოსფორის შემცველობა 0,3-0,35%, კაზმში %P/Mn% უნდა იყოს 0,0038-0,0040, ხოლო ლითონური ელექტროთერმული მანგანუმის მისაღებ კაზმში ეს ფარდობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,0005.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში ე.წ. გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის მისაღებად, რომელშიდაც ფოსფორის შემცველობა 0,1-0,2%, იყენებენ სპეციალურად გამოდნობილ დაბალფოსფორიან გადასამუშავებელ წიდეებს, ან უფლუსო მეთოდით გამოდნობილ ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის და საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის წიდეების ნარევეს. ამ შემთხვევაში კაზმის ერთი ულუფის შედგენილობაა:

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის წიდა	(40%Mn)
- 70 კგ	
საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის წიდა	
(32%Mn)	- 30 კგ
კვარციტი	- 10 კგ
კოქსწვრილა	- 25 კგ

წილების შედგენილობა შემდეგია, %	ეროვნული გეოლოგიური				
	Mn	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P
ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის წილა	37-42	29-31	7-9	6-9	0,01-0,02
საშუალონახშირბ. ფერომანგანუმის წილა	30-34	26-28	21-24	2,5-3	0,01-0,03

ამ კაზმით მიღებული გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის შედგენილობაა, %

Mn	Si	P	C	Fe
73-76	17-21	0,16-0,18	1,0-1,5	3-5

ამ მონაცემებიდან ჩანს, რომ კაზმში გამოყენებულ წიდეებში ფარდობა - P/Mn ძალიან მცირეა, რაც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ლითონი 0,1-0,2% ფოსფორის შემცველობით.

ამავე ქარხანაში სასაქონლო სილიკომანგანუმის გამოსადნობ კლასიკურ კაზმად ითვლება შემდეგი:

მანგანუმის კონცენტრატი ან აგლომერატი (42%Mn)	- 70 კგ
საშუალონახშირბადიანი ფერომ. წილა (32%Mn)	- 30 კგ
კვარციტი	- 18 კგ
კოქსწვრილა	- 28 კგ

%

<u>Mn</u>	<u>SiO₂</u>	<u>P</u>	<u>CaO</u>
42-48	16-10	0,16-0,19	2-3

<u>Al₂O₃</u>	<u>Fe₂O₃</u>	<u>MgO</u>
1,3-1,8	1,5-2,0	1,4-1,6

ამ საკაზმე მასალებით მიიღება სილიკომანგანუმი CMH17, რომელშიდაც ფოსფორის შემცველობა არ აღემატება 0,35%.

ერთი ბაზური ტონა (%Mn + %Si = 82) სილიკომანგანუმის CMH17 მისაღებად იხარჯება საკაზმე კომპონენტების დაახლოებით შემდეგი რაოდენობა, კგ:

მანგანუმის კონცენტრატი ან აგლომერატი

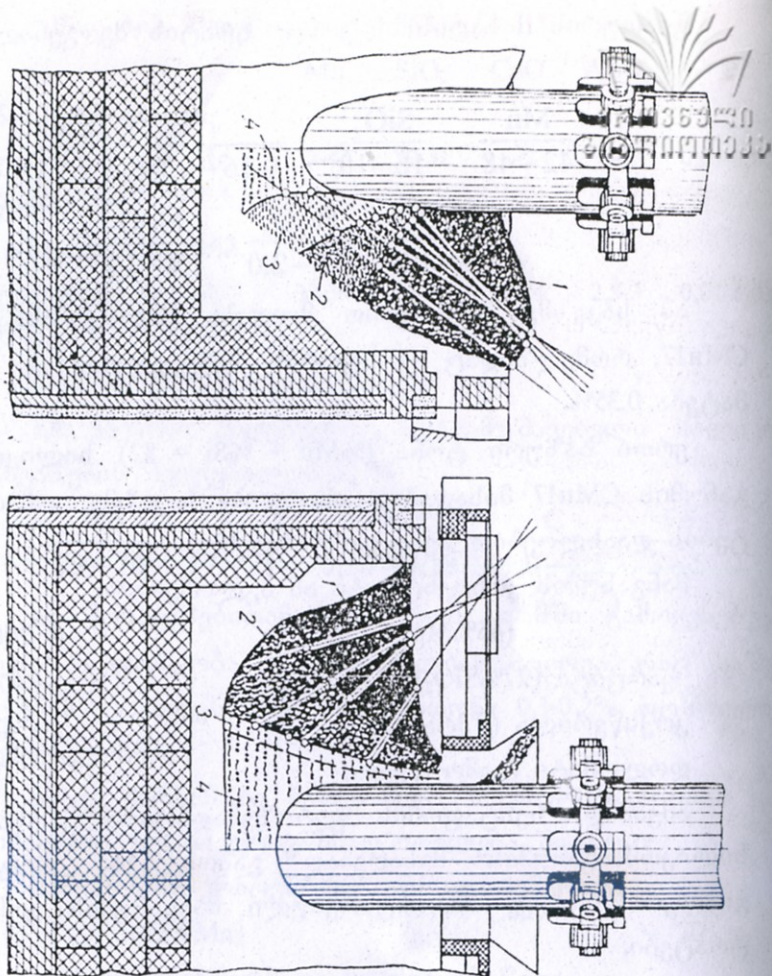
(45%Mn) - 2000

კვარციტი (97%SiO₂) - 470

კოქსწერილა (მშრალი) - 486

დოლომიტი (გამოუწვავი) - 170

ამჟამად, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში სილიკომანგანუმის მისაღებად გამოიყენება როგორც ჭიათურის, ასევე იმპორტირებული მანგანუმის კონცენტრატები.



ნახ. 16. სილიკომანგანუმის გამოსადნობი PK3-16,5 ღია (ა)
და დახურული (ბ) ღუმელის აბაზანის ვერტიკალური
ჭრილი:

- 1 - ცივი კაზმი; 2 - გახურებული კაზმი;
3 - გამდნარი კაზმი; 4 - ნაღნობი.

სილიკომანგანუმის გამოდნობა ფორმალურად უწყვეტი პროცესია, ლითონის და წიდის პერიოდული გამოშვებით. სინამდვილეში მას ახასიათებს თვალით შეუმჩნეველი გარკვეული პერიოდულობა. ყოველი გამოშვების შემდეგ ღუმელის ქურაში ჩამოიყრება სუსტად გახურებული კაზმი, რომელსაც გააჩნია შედარებით მცირე ელექტროწინალობა, რის გამოც გამოშვების შემდეგ ელექტროდები მაღლა იწევს. დნობის პროცესში წარმოიქმნება ლითონის და წიდის მნიშვნელოვანი რაოდენობა, რომელიც არეულია აღმდგენელთან და კაზმთან. როგორც ჩანს ასეთ ნარევის (ლითონი, წიდა, აღმდგენელი, კაზმი) გააჩნია უფრო მაღალი ელექტროწინალობა, ვიდრე სუსტად გახურებულ კაზმს, რის შედეგადაც ელექტროდები იწყებენ ძირის დაშვებას.

ასეთი ხასიათის პერიოდულობას ხშირად ღუმელის ნორმალური მუშაობის დარღვევასთან მივყავართ, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ წიდა იწყებს ელექტროდის გარშემო დუღილს და საკერძეზე ამოდის. ამ მოვლენის აღსაკვეთად იძულებული ვხდებით ელექტროდები მაღლა წამოვწიოთ და შევწყვიტოთ კაზმის მიწოდება ელექტროდების ქვეშ. აღნიშნული პროცესი მეტად არასასურველია, რადგანაც მას ღუმელის წარმადობის შემცირებისკენ მივყავართ.

ღუმელიდან ნაღნობის გამოშვება ხდება ყოველ ორ საათში ერთხელ, ან ელექტროენერგიის გარკვეული ხარჯის მოხსნის შემდეგ. გამოიყენება ფოლადის ან შამოტის აგურით ამოგებული ციციხეები. ლითონის ტემპერატურა გამოშვების დროს 1500-1550°C. იგი ჩამოისხმება

კონვეიერული ტიპის საჩამოსასხმო მანქანებზე, რომლის თითოეული სხმული 50-60 კგ იწონის.

სილიკომანგანუმის ე.წ. გადასაყრელი წიდევის შედგენილობა, სხვადასხვა ქარხნებში გამოყენებული საკაზმე მასალების მიხედვით, სხვადასხვაა და იგი შეადგენს 14-18%Mn, 44-49%SiO₂, 20-26%CaO, 6-8%Al₂O₃, 0,5-0,7%FeO, 0,015-0,02%P. ფუძიანობა 0,4-0,6, ჯერადობა 0,8-1,5.

როგორც ვხედავთ წიდებში იკარგება მანგანუმის მნიშვნელოვანი (18-20%) რაოდენობა. ზოგჯერ ასეთი წიდების ნაწილს იყენებენ დაბალფოსფორიანი, გადასამუშავებელი წიდების მისაღებად, დანარჩენი კი გადაიყრება. ამიტომ მეტად აქტუალურია ასეთი წიდების ბოლომდე აღდგენა და მათი წარმოებაში დაბრუნება. ამის მიღწევა შესაძლებელია მათი დაფქვით ან გრანულაციის შემდეგ მისი აღმდგენელთან ერთად დაბრიკეტებით და შემდგომი გამოდნობით. ასეთ ღრმად აღდგენილ წიდებში მანგანუმის შემცველობა 2-5% ფარგლებშია და ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამშენებლო მიზნებისათვის.

მძლავრ 16,5 მვა სიმძლავრის დახურულ ღუმელებში სილიკომანგანუმის დრობის პროცესში, წარმოიქმნება დახობით 800 მ³/ტ საკერძე აირები, რომელთა შედგენილობაა, %:CO-63-80; CO₂-13-24; H₂-1,3-7,5; N₂-2-19; O₂-0,5-2,7. ასეთი აირები წარმატებით შეიძლება იქნეს გამოყენებული სხვადასხვა ტექნოლოგიური მიზნებისათვის, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის სილიკომანგანუმის წარმოების რეზერვებს.

6.3. სილიკომანგანუმის ღნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მანკვნებლები

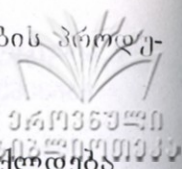


სხვადასხვა მარკის სილიკომანგანუმის ეკონომიკური ეფექტურობა მით მეტია, რაც მეტია სხვაობა შენადნის თვითღირებულებასა და გასაყიდ ფასს შორის. თანამედროვე პირობებში, როდესაც მკვეთრად მერყეობს ლითონის გასაყიდი ფასები, და შეიმჩნევა ნედლეულის და ელექტრონერგიის ფასების მუდმივად ზრდის ტენდენცია, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ისეთი ტექნოლოგიების დანერგვას, რომელიც საშუალებას მოგვცემს დავზოგოთ ნედლეული მასალები, გავზარდოთ სასარგებლო ელემენტის გამოყენების კოეფიციენტი, შევამციროთ ნარჩენების რაოდენობა და გამოვიყენოთ ადგილობრივი იაფასიანი მასალები.

სილიკომანგანუმის გამოღობის მიღწეული (საშუალო) ტექნიკო-ეკონომიკური მანკვნებლები (ნედლეულის და ელექტრონერგიის ხვედრითი ხარჯი 1 ბაზურ ტონაზე) შემდეგია:

მანგანუმის კონცენტრატი ან აგლომერატი,	
48%Mn	– 2000 კგ
კვარციტი	– 382 კგ
კოქსწვრილა	– 480 კგ
ელექტროდის მასა	– 31 კგ
ელექტრონერგია	– 4200 კვტ/სთ
მანგანუმის გადასვლა შენადნში, %	– 75

ძირითადი ელემენტების განაწილება დნობის პროდუქტებს შორის ასეთია, %:



ელემენტი	ლითონში	წილაში	აორთქლდება
მანგანუმი	75	17	8
სილიციუმი	40	50	10
რკინა	95	5	—
ფოსფორი	80	4	16

სილიკომანგანუმის (CMH17) თეითღირებულების სტრუქტურა, %

ნედლეული	აღმდგენელი	ელ.ენერგია	ელექტროდები	სხვა ხარჯები
46-50	15-18	23-26	3-4	7-10

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სილიკომანგანუმის დნობის ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების ზრდა შესაძლებელია სასარგებლო ელემენტების გამოყენების გაზრდით და შესაბამისად წარმოების ნარჩენების შემცირების გზით. სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში წარმოიქმნება, ძირითადად ორი სახის ნარჩენი – გრანულირებული წდები (14-18Mn, 45-50%SiO₂) და აირგამწმენდ მოწყობილობებში დარჩენილი მტვერი (შლამი), რომელშიც მანგანუმის რაოდენობა 25-35% აღწევს. ამ ნარჩენების უშუალოდ სილიკომანგანუმის გამოსდნობ კაზმში გამოყენება ვერ ხერხდება მათი წვრილდისპერსიულობის გამო. მრავალრიცხოვანმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ამ მასალების გამოსაყენებლად და სადნობ კაზმში დასაბრუნებლად პერსპექტიულ გზას წარმოადგენს მათი

დაბრიკეტება აღმდგენელთან (კოქსის ანაცერი, ნახშირები და სხვა) ერთად. ასეთი ბრიკეტების გამოყენება სილიკო-მანგანუმის გამოსადნობ კაზმში, საშუალებას გვაძლევს გავზარდოთ სასარგებლო ელემენტების გამოყენების კოეფიციენტი, შევამციროთ ძვირადღირებული ნედლეულის და დეფიციტური კოქსის ხარჯი და შესაბამისად ლითონის თვითღირებულება.

6.4. სილიკომაგნეზუმის გამომდნობის პროცესში შემ-
 რნეული დამახასიათებელი დარღვევები და
 მისი აღმოფხვრის ღონისძიებები

დარღვევები	მიზეზი	გარეული ნიშები	აღმოფხვრის ღონისძიებები კაზმის კორექცია. შემცირდეს კვარციის რაოდენობა ან გაიზარდოს მადნის მიწოდება. ცალკეულ შემთხვევებში დასაშვებია კირის (ცოლიმიტის) ან მანგანუმის მადნის მიწოდება. შემცირდეს გადასადნობი ნარჩენების რაოდენობა. შემცირდეს აღმდგენელის რაოდენობა ან მისი ნატეხების ზომები.
1. ღუმელში ბლანტი წილის დაბრუნება.	მადნის ან კოქსის დანაკლისი, წიაში SiO ₂ -ის მაღალი შემცველობა.	კაზმის არასაკმარისი ხარვეზი, ელექტროდების და მათზე დნური დატვირთვის არამდგრადობა.	აღმოფხვრის ღონისძიებები კაზმის კორექცია. შემცირდეს კვარციის რაოდენობა ან გაიზარდოს მადნის მიწოდება. ცალკეულ შემთხვევებში დასაშვებია კირის (ცოლიმიტის) ან მანგანუმის მადნის მიწოდება. შემცირდეს გადასადნობი ნარჩენების რაოდენობა. შემცირდეს აღმდგენელის რაოდენობა ან მისი ნატეხების ზომები.
2. კაზმის ელექტრონიკის შემცირება.	ნარჩენების უორსირებული, არათანაბარი გადადნობა, აღმდგენელის სიჭარბე ან მისი მაღალი ფრაქციულობა, შშრალი მადანი.	ელექტროდების მაღალი მუდარეობა, დნური დატვირთვების მიმატება.	აღმოფხვრის ღონისძიებები კაზმის ელექტრონიკის გაზრდა.
3. კაზმის ელექტრონიკის გაზრდა.	აღმდგენელის უკმარისობა.	ელექტროდების ზომაზე შეტად ღრმა მდებარეობა.	აღმოფხვრის ღონისძიებები კაზმის ელექტრონიკის გაზრდა.
4. შენადნუ სილიციუმის რაოდენობის შემცირება.	კაზმში კოქსფილას ან კვარციტის ნაკლებობა.		შესაბამისად გაიზარდოს კაზმში კვარციტის და კოქსფილას მიწოდება.
5. სილიციუმის შემცველობის გაზრდა ლითონში.	კაზმში კვარციტის ან კოქსფილას სიჭარბე		ღუმელს მიწოდის 300 კგ მდე მანგანუმის მადანი. თუ სილიციუმის შემცველობის ზრდა გრძელდება, მაშინ მოხდება კაზმის კორექცია და მასში გაიზარდოს მანგანუმის მადნის წილი ან შემცირდეს კვარციტის და კოქსფილას წილი.

6.5. სილიკომანგანუმის გამოსაღობი კაზმის ანგარიში

საკაზმე მასალების და სილიკომანგანუმის შედგენილობა მოცემულია ცხრილში.

მასალები	შედგენილობა, %			
	Mn	SiO ₂	C	Fe
მდიდარი წიდა	40	30	—	—
მანგანუმის კონცენტრატი	50	12	—	—
კოქსწვრილა	—	—	80	—
კვარციტი	—	96	—	—
რკინის ბურბუშელა	—	—	—	95
სილიკომანგანუმი	68	<u>Si</u> 21	0,9	9,0

ანგარიში წარმოებს 100 კგ მადნისა და წიდის ნარევი: 75 კგ წიდა და 25 კგ კონცენტრატი.

მანგანუმის გადასვლა შენადნში 82%, აორთქლდება 5%.

100 კგ წიდისა და მადნის ნარევიდან შენადნში გადადის მანგანუმი:

$$75 \cdot 0,82 \cdot 0,40 + 25 \cdot 0,82 \cdot 0,5 = 35,1 \text{ კგ.}$$

აქროლდება მანგანუმი: $75 \cdot 0,4 \cdot 0,05 + 25 \cdot 0,5 \cdot 0,05 = 2,13 \text{ კგ.}$

წარმოიქმნება ლითონი (68%Mn) $35,1 : 0,68 = 51,6 \text{ კგ.}$

შენადნი შეიცავს:

ნახშირბადს — $51,6 \cdot 0,009 = 0,465 \text{ კგ.}$

სილიციუმს — $51,6 \cdot 0,21 = 10,84 \text{ კგ.}$

საჭიროა ნახშირბადი:

37,23 კგ Mn-ს აღსადგენად MnO-დან:

$$\frac{37,23 \cdot 12}{55} = 8,13 \text{ კბ.}$$

10,84 კბ Si-ის აღსადგენად SiO₂-დან:

$$\frac{10,84 \cdot 24}{28} = 9,28 \text{ კბ.}$$

დანახშირბადებაზე 0,465 კბ.

სულ ნახშირბადი: $8,13 + 9,28 + 0,465 = 17,875$ კბ.

ან კოქსიკი 20% სიჭარბით ამოწვაზე:

$$\frac{17,875}{0,8 \cdot 0,80} = 27,95 \text{ კბ} \approx 28 \text{ კბ.}$$

რკინა შენადნში უნდა იყოს $56,6 \cdot 0,09 = 4,65$ კბ.

საჭიროა ბურბუშეღა $4,65 : 0,95 \approx 4,9$ კბ.

პრაქტიკულმა გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ კაზმში SiO₂:Mn (კოქსის ნაცრის გაუთვალისწინებლად) უნდა იყოს ≈ 1 .

კაზმში გვაქვს 42,5 კბ მანგანუმი, შესაბამისად SiO₂ უნდა იყოს 42,5 კბ.

წიდას და მადანს შექავთ SiO₂ - 25,5 კბ. დამატებით საჭიროა

$42,5 - 25,5 = 17$ კბ SiO₂, ან $17 : 0,96 = 17,7$ კბ კვარციტი.

კაზმის ულუფის შედგენილობა იქნება კბ:

მანგანუმის კონცენტრატი - 25

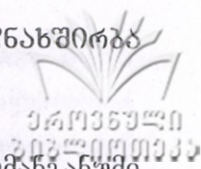
წიდა - 75

კვარციტი - 17,7

კოქსწვრილა, მშრალი - 28,0

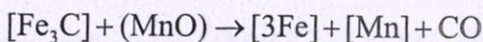
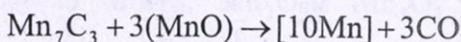
რკინის ბურბუშეღა - 4,9.

თავი 7. საშუალონახშირბადიანი და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება



საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმი ქიმიური შედგენილობის მიხედვით უნდა აკმაყოფილებდეს ГОСТ 4755-88 მოთხოვნებს (იხ. „ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება“). ისინი გამოიყენებიან, როგორც განმქანგველები და მალეგირებელი დანამატები მთელი რიგი ფოლადებისათვის, რომლებშიდაც ნახშირბადის და ფოსფორის შემცველობა საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ეს, ლითონურ მანგანუმთან შედარებით, იაფი შენადნობები.

ამ შენადნობების მიღების საწყის ეტაპზე ცდილობდნენ, რომ ისინი მიეღოთ შედარებით ადვილი ხერხით – ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ნახშირბადისაგან რაფინირების გზით. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობდა იმაში, რომ ღუმელში გამდინარ ნახშირბადიან ფერომანგანუმს აყოვნებენ გარკვეული დროის მანძილზე, მაღალ ტემპურატურაზე, მანგანუმის ოქსიდებით მდიდარი წილის ქვეშ. ამ პირობებში ხდებოდა ლითონის გაუნახშირბადოება შემდეგი რეაქციით:



ჩატარებულმა საცდელმა დნობებმა უჩვენა, რომ ამ მეთოდით ლითონის გაუნახშირბადოება, 1700°C ტემპურატურაზეც კი, სასურველ შედეგს ვერ იძლეოდა და უკვე რაფინირებულ ლითონში ნახშირბადის შემცველობა იყო არა ნაკლები 2,5%. ამავე დროს ხდებოდა მანგანუმის

დიდი რაოდენობით აორთქლება, პროცესი იყო საკმაოდ ხანგრძლივი და იხარჯებოდა დიდი რაოდენობის ელექტროენერგია.

ყოველივე ამის გამო აღნიშნული პროცესის შემდეგი დამუშავება შეჩერებულ იქნა და მის მაგივრად სამრეწველო მასშტაბით, ფართოდ გამოიყენება დნობის სილიკოთერმული მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამის საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღებას.

საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოსადნობად იყენებენ შემდეგ საკაზმე მასალებს: მანგანუმის კონცენტრატი (ან დაბალფოსფორიანი წიდა), კირი (ფლუსი) და სილიკომანგანუმი (აღმდეგენლი).

საკაზმე მასალების ქიმიური შედგენილობა, %

საკაზმე მასალები	MnO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P
დაბალფოსფორიანი წიდა	62	25,8	0,3	2,6	5,8	3,2	0,018
მანგანუმის კონცენტრატი	58	9,2	1,9	2,2	3,5	1,5	0,16
კირი	—	0,6	0,13	0,3	92	2,0	0,01
სილიკომანგანუმი	Mn 72	Si 27	Fe 4,0	C 1,0			0,30

სადნობად გამოყენებულია დაბალი სიმძლავრის (2500-5000 კვა), მაგნეტიზის ამონაგიანი, ღია სამფაზა ღუმელები.

საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის დნობის პროცესის რამდენიმე ვარიანტი არსებობს:

1 ვარიანტი. ესაა დნობის ჩვეულებრივი პროცესი, წი-

ნასწარ ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მდიდარი წილებიდან გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის მიღებით.

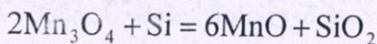
II ვარიანტი. ჩვეულებრივი საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება თხევადი დაბალფოსფორიანი წილებიდან, მასზე მანგანუმის კონცენტრატის და სილიკომანგანუმის დამატებით.

III ვარიანტი. დაბალფოსფორიანი (0,10-0,05), საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება თხევადი (ან მყარი) დაბალფოსფორიანი წილებიდან.

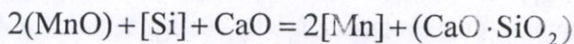
ყველა ეს სამი ვარიანტი, ძირითადად, იმით განსხვავდება ერთმანეთისაგან, თუ რა სახის საწყისი მასალება გამოყენებული: სასაქონლო თუ გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი, მანგანუმის კონცენტრატი თუ დაბალფოსფორიანი წიდა (ან ორივე ერთად) და ბოლოს, მყარი თუ თხევადი დაბალფოსფორიანი წიდა. მიუხედავად ამ განსხვავებისა, საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღების ტექნოლოგიის ძირითადი არსი რჩება ერთიდაიგივე, რაც სილიკომანგანუმის სილიციუმით მანგანუმის ოქსიდების აღდგენაში მდგომარეობს.

საკაზმე მასალებს ღუმელში შეაქვთ მანგანუმის შემდეგი ოქსიდები: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 და MnO (წილებს).

მაღალი ოქსიდები (MnO_2 და Mn_2O_3) შედარებით დაბალ ტემპერატურებში დისოცირდებიან Mn_3O_4 (იხ. „ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება“), შემდეგ კი — Mn_3O_4 სილიციუმით აღდგება MnO -მდე რეაქციით:



მთავარი, რაც განსაზღვრავს საშუალო და დაბალ-
ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღების პროცესს, არის
მანგანუმის ქვეჟანგის (MnO) სილიციუმით ადდგენის
რეაქცია ფლუსთან (კირი) ერთად.



$$\Delta G^0 = 53000 - 41,86T$$

მანგანუმის ადდგენასთან ერთად მიმდინარეობს კაზ-
მში არსებული რკინის და ფოსფორის ადდგენაც.

კალციუმის ოქსიდი, ისევე როგორც ლითონური მან-
განუმის მიღების შემთხვევაში, ამცირებს კაჟმიწის (SiO₂)
აქტივობას, რომელიც წარმოიქმნება ზემოთ მოყვანილი
რეაქციით ან შეიტანება დაბალფოსფორიანი წიღებით
(კონცენტრატებით), ამაღლებს MnO-ს აქტივობას და
ზრდის მანგანუმის გადასვლას ლითონში. წიღის ოპტი-
მალური ფუძიანობა (CaO/SiO₂) ტოლია 1,0-1,2, რაც რამ-
დენადმე უფრო დაბალია, ვიდრე ლითონური მანგანუმის
გამოდნობის შემთხვევაში (1,5-1,6).

საშუალო და დაბალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის
მიღების ტექნოლოგია ზესტაფონის ფეროშენადნობთა
ქარხანაში, რომელიც რამდენიმე ათეული წლის წინ იქნა
ათვისებული, შემდეგია: საკაზმე მასალებად გამოიყენება
ჭიათურის პირველი ხარისხის ოქსიდური კონცენტრატი
(48%Mn და 0,18%P), კირი და გადასამუშავებელი სილიკო-
მანგანუმი, რომელიც შეიცავს არა უმეტეს 0,15%P. გადა-
სამუშავებელ სილიკომანგანუმს ღებულობენ ნახშირბად-
იანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით მიღებული მა-
ღალმანგანუმიანი და დაბალფოსფორიანი წიღებიდან.

კონცენტრატს წინასწარ აშრობენ 200°C ტემპერატურაზე, რის შემდეგ მისი სინესტე არ უნდა აღემატებოდეს 1-3%.

დნობა, რომელიც პერიოდულ ხასიათს ატარებს, მიმდინარეობს 5000 კვა სიმძლავრის მარაფინირებულ დენებში, სადაც ძაბვა დნობის დასაწყისში 284 ვოლტია, ხოლო დნობის ბოლოს 232 ვოლტი. ლითონთან ერთად მიიღება მდიდარი, მაღალფუძიანი, დაბალფოსფორიანი წიდა, რომლის შემდგენილობაა (%): $30-34\text{Mn}$; $26-28\text{SiO}_2$; $21-24\text{CaO}$; $0,01-0,03\text{P}$. ამ წიდებს შემდგომში იყენებენ როგორც სასაქონლო, ასევე გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის მისაღებად.

7.1. ლითონური მანგანუმის მიღება

ლითონური მანგანუმი ეწოდება ტექნიკურად სუფთა მანგანუმს, რომელშიდაც არის 93,5-99,85% Mn. არსებობს მისი მიღების ელექტროსილიკო-თერმული, ალუმინოთერმული და ელექტროლიტური ხერხები.

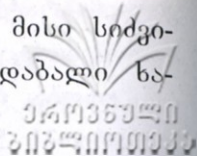
1. სილიკოთერმული ხერხი – მანგანუმის აღდგენა მისი ოქსიდებიდან სილიკომანგანუმის სილიციუმით რკალურ ელექტროლუმელში.

2. ალუმინოთერმული ხერხი – მანგანუმის აღდგენა ალუმინით კერებში (დუმელგარეშე დნობა).

3. ელექტროლიტური ხერხი – გოგირდმუავას ხსნარებიან აბაზანებში მანგანუმის ელექტროდენით დალექვა.

ლითონური მანგანუმის მიღება, დიდი სამრეწველო მასშტაბით, ხორციელდება დნობის სილიკოთერმული მეთოდით. ელექტროლიზი გამოიყენება ცალკეულ შემთხვევებში – ზესუფთა მანგანუმის მისაღებად. ალუმოთერ-

მული ხერხი პრაქტიკულად არ გამოიყენება მისი სიძვირის და მიღებული ლითონის შედარებით დაბალი ხარისხის გამო.



ლითონური მანგანუმის ქიმიური შემადგენლობა,
(მასური %):

მარკა	Mn არა ნაკლები 99,85	C	Si	Fe	P	S
MpOO		0,04	-	-	0,01	0,03
MpO	99,70	0,10	-	-	0,01	0,10
Mp1	96,5	0,10	0,8	2,3	0,05	0,10
Mp2	95,0	0,20	1,8	2,8	0,07	0,10
Mp1C	93,5	0,15	1,8-3,0	2,8	0,07	0,10

MpOO და MpO მარკის მანგანუმი მიიღება ელექტროლიტური მეთოდით, ხოლო Mp1, Mp2 და Mp1C ელექტროსილიკოთერმული მეთოდით. ელექტროლიტური მანგანუმი, რომელიც ყოფილ საბჭოთა კავშირში მხოლოდ ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში იწარმოებოდა, გამოიყენება სპეციალური დანიშნულების ფოლადებსა და შენადნობებში.

7.2. ლითონური მანგანუმის მიღების ტექნოლოგია ელექტროსილიკოთერმული მეთოდით

ლითონურ მანგანუმს, როგორც მისი ქიმიური შედგენილობიდან ჩანს, წაეყენება მკაცრი მოთხოვნები ისეთი მინარევების მიმართ, როგორცაა P, Fe და C. მათგან მინარევებისაგან ასეთი სისუფთავის ლითონის მიღება

პირდაპირ, ერთსაფეხურიანი დნობით შეუძლებელია და
ამჟამად ლითონური მანგანუმის მისაღებად იყენებენ სამ-
საფეხურიან სქემას:

1. უფოსფორო, ურკინო, გადასამუშავებელი
მანგანუმიანი წილის გამოდნობა.

2. გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის გა-
მოდნობა.

3. ლითონური მანგანუმის გამოდნობა.

ლითონური მანგანუმის მიღების სამსტადიიანი ტექ-
ნოლოგიის თავისებურება მდგომარეობს მანგანუმის სა-
სარგებლო გამოყენების სიმცირეში, რომელიც არ აღე-
მატება 50-52%. რის გამოც მაღალია ელექტროენერგიის
და საკაზმე მასალების ხვედრითი ხარჯი, რაც მნიშ-
ვნელოვნად ზრდის მანგანუმის თვითღირებულებას. მან-
განუმის სასარგებლო გამოყენების დაბალი მაჩვენებელი,
ძირითადად გამოწვეულია მანგანუმის დიდი დანაკარგე-
ბით ე.წ. გადასაყრელ წილებში, ძირითადად პროცესის
მესამე სტადიის დროს. გადასაყრელ წილებში მანგანუმის
შემცველობა 14-16%, რის გამოც მანგანუმის გადასვლა
სასაქონლო ლითონში, მესამე სტადიაზე, არ აღემატება
60-63%.

მანგანუმის ქვეჟანგის (MnO) სილიციუმით აღდგენის
რეაქცია არის ძირითადი პროცესი ლითონური მანგანუ-
მის სილიკოთერმული მეთოდით მიღებისა. ამ რეაქციის
თერმოდინამიკულმა გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ სტან-
დარტით დასაშვები სილიციუმის რაოდენობა ლითონში
(0,8-1,8%) წონასწორობაშია 15-17% მანგანუმის ქვეჟანგთან
(MnO) წიდაში, მისი 1,5-1,6 ფუძიანობის პირობებში. სწო-

რედ ესაა ძირითადი მიზეზი მანგანუმის დიდი რაოდენობით (40%-მდე) დანაკარგებისა, ლითონური მანგანუმის ელექტროსილიკოთერმული ხერხით მიღების შემცველობაში.

საქართველო

7.3. უზოფორო გაღასამუშავებელი მანგანუმიანი წილის ბამოღნობა

ეს პროცესი, როგორც ზემოთ უკვე იყო აღნიშნული, წარმოადგენს დეფოსფორაციის მეტალურგიულ ხერხს. მისი არსი მდგომარეობს, ელექტრო ღუმელებში მანგანუმის კონცენტრატებიდან ნახშირბადით ფოსფორის და რკინის შერჩევით (სელექტიურ) აღდგენაში. ამ მიზნის მისაღწევად მანგანუმის კონცენტრატს აღნობენ, მცირე რაოდენობის ნახშირბადიან აღმდგენელთან ერთად, რომელიც მიეწოდება იმ ანგარიშით, რომ უზრუნველყოფილი იყოს ფოსფორის და რკინის სრული აღდგენა, ხოლო მანგანუმის აღდგენა მოხდეს მინიმალური რაოდენობით. ამ პირობებში მანგანუმის ძირითადი მასა რჩება განფოსფორებულ წიდაში, ხოლო აღდგენილი რკინა-მანგანუმის ნაწილი, ფოსფორი და ნახშირბადი ქმნიან ე.წ. „თანმდევ“ ლითონს, რომელიც ფაქტიურად წარმოადგენს ნახშირბადიან ფერომანგანუმს ფოსფორის მაღალი შემცველობით.

ასეთი ხერხით დეფოსფორაციის შედეგად მიღებულ წიდაში ფარდობა %P%Mn უნდა იყოს არა უმეტეს 0,00038, რაც დაახლოებით ათჯერ დაბალია, ვიდრე ყველაზე ხარისხოვან კონცენტრატებში, სადაც ეს ფარდობა 0,0038-0,04 ფარგლებშია.

გადასამუშავებელი, უფოსფორო წილის შედგენილობა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ტექნიკურ პირობებს/ (მასური %): Mn-45-47; P-0,08-0,017; SiO₂-25-27; CaO-5-7; FeO-0,0,17-0,24.

გადასამუშავებელი წილების დნობა ხორციელდება მაგნეზიტის აგურით ამოგებულ მცირე სიმძლავრის (5000 კვა), სამფაზა, პერიოდული მოქმედების ელექტროლუმელებში და დიდი სიმძლავრის (22,5 მვა) ლუმელებში უწყვეტი პროცესით.

საკაზმე მასალებად გამოყენებულია: მანგანუმის კონცენტრატი, კოქსწვრილა, კვარციტი და სილიკომანგანუმის წილა.

დაბალფოსფორიანი (უფოსფორო) წილების დნობის პროცესის ძირითადი ამოცანებია:

1. კონცენტრატებიდან ფოსფორის მაქსიმალური აღდგენა და მისი გადაყვანა ე.წ. „თანმდევ“ ლითონებში;
2. კონცენტრატში არსებული მანგანუმის მაქსიმალური გადასვლა წილაში (მისი მინიმალური დანაკარგები „თანმდევ“ ლითონში და აორთქლებაზე);
3. მიღებული წილის დაბალი სიბლანტე, რაც უზრუნველყოფს ლითონის და წილის კარგ გაყოფას და ლითონური ჩანართების მინიმალური რაოდენობის ჩარჩენას წილაში.

პირველი და მეორე ამოცანის გადაჭრას უზრუნველყოფს კაზმში შესაბამისი რაოდენობის აღმდგენელის და მდნობის (კვარციტის) შეყვანა და დნობის წარმართვა შესაბამისი ელექტრული რეჟიმით.

მესამე ამოცანის გადაწყვეტა კი ხდება წილის შედგენილობის ოპტიმალური შერჩევით და მისი საკმარის მაღალ ტემპერატურაზე გახურებით.

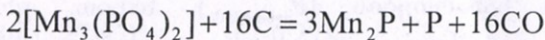
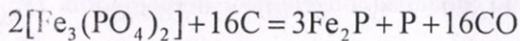
წიდაში SiO_2 -ის მაღალი შემცველობა განპირობებულია მასში კაუბადშემცველი კომპონენტების (კვარციტი, ქვიშა, სილიკომანგანუმის წიდა) შეყვანის აუცილებლობით, რაც უზრუნველყოფს წიდების დაბალ სიბლანტეს. დადგენილია, რომ სხვა ოქსიდების შემცველობის გათვალისწინებით წიდაში SiO_2 -ის რაოდენობა უნდა იყოს 27-29%.

ფოსფორის რაც შეიძლება სრულად მოსაცილებლად, გარდა ოპტიმალურად შედგენილი კაზმისა, აუცილებელია მკაცრად დავიცვათ დნობის ტემპერატურული რეჟიმი, რაც ერთ დნობაზე გათვალისწინებული ელექტროენერჯის ხარჯის მოხსნით მიიღწევა.

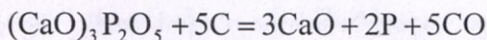
წილის დნობა მაშინ ითვლება დამთავრებულად, როდესაც კარგად არის გამდნარი ყველა საკაზმე მასალა, დახარჯულია დნობისათვის გათვალისწინებული ელექტროენერჯია და მიღწეულია წილის კარგი თხევადდენადობა. ლითონური ჩანართების კარგად დასალექად, მთელი კაზმის სრულად გადნობის შემდეგ, წიდას გამოშვების წინ ღუმელში 25-30 წუთის განმავლობაში აყოვნებენ.

თვლიან, რომ მანგანუმის კონცენტრატებში ფოსფორი ძირითადად წარმოდგენილია შემდეგი მინერალების სახით: აპატიტი - $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5$, გრაფტონიტი - $[\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mn}]_3(\text{PO}_4)_2$, სტიუარტიტი - $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, ვივიანიტი - $(\text{FeO})_2\text{P}_2\text{O}_5$ და სხვა.

შედარებით დაბალ ტემპერატურებში ($>1000^\circ\text{C}$) შესაძლებელია შემდეგი რეაქციები:

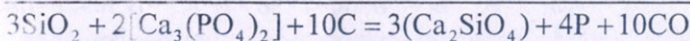
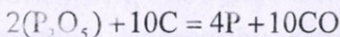
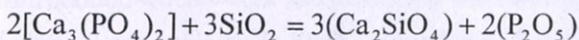


კალციუმის ფოსფატიდან ფოსფორის აღდგენის ტემპურად 1000°C-ის ზემოთ:



აღდგენილი რკინის და მანგანუმის არსებობა, რომლებიც თავისთავში ხსნიან ფოსფორს ან წარმოქმნიან მასთან ნაერთებს, ამსუბუქებს ფოსფორის აღდგენას აპატიტიდან და დაბლა სწევს აღდგენის საწყის ტემპურად რას. მაგრამ ამ მიმართებით, განსაკუთრებით ეფექტურად მოქმედებს კაუმიწა, რომელიც ამადლებს P_2O_5 -ის აქტიუობას.

კაზში SiO_2 -ის არსებობის შემთხვევაში ფოსფორის აღდგენის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ფოსფორი თავისი ნაერთებიდან საკმაოდ ადვილად აღდგება და გადადის ლითონში.

ფოსფორის განაწილება ფაზებს შორის შემდეგია:

გადადის ლითონში – 75-85%

გადადის წიდაში – 3-5%

აორთქლდება – 12-20%

ფოსფორი წიდაში იმყოფება ოქსიდების ($P_{\text{შეკრული}}$) და ლითონური ჩანართების ($P_{\text{ლითონის}}$) სახით. ფოსფორის საერთო რაოდენობა ტოლია -

$$P_{\text{საერთო}} = P_{\text{შეკრული}} + P_{\text{ლითონის}}$$

რაოდენობრივი თვალსაზრისით ფოსფორი შემდეგნაირად ნაწილდება, %:

$P_{\text{საერთო}}$	$P_{\text{შეკრული}}$	$P_{\text{ლინი}}$
0,013	0,010	0,010
0,018	0,010	0,008
0,010	0,009	0,001

ე.ი. ფოსფორის მთელი შემცველობის 85% იმყოფება ოქსიდებში (შეკრული სახით), ხოლო 15% ლითონურ ჩანართებში ($P_{\text{ლითონური}}$)

პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ წიდაში ფოსფორის მინიმალური რაოდენობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია, რომ მისი ფუძიანობა CaO/SiO_2 არ აღემატებოდეს 0,3. ფუძიანობის გაზრდა იწვევს ლითონში მანგანუმის გადასვლის გაზრდას, რაც არასასურველია. მანგანუმის საარგებლო გამოყენება შეადგენს დაახლოებით 90%.

ელემენტი	ლითონში	წიდაში	აორთქლდება
Mn	5	90	5
P	75	5	20
Fe	90	10	-
Si	0,5	95	4,5

მიღებული მაღალფოსფორიანი ფერომანგანუმის შედგენილობაა, %:

35-55Mn; 27-47Fe; 0,1-0,27Si; 2,5-4P; 0,2-0,6C

მისი რაოდენობა 1 ბაზური ტონა წიდაზე დაახლოებით 80 კგ-ია. ეს ლითონი გამოიყენება საავტომატო ფოლადების გამოსადნობად ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის და ფეროფოსფორის ნაცვლად.

ერთი ბაზური ტონა უფოსფორო წიდის მისაღებად საკაზმე მასალების ხარჯვითი კოეფიციენტები შემდეგია:

მანგანუმის კონცენტრატი (45-48%Mn) – 1180 კგ

კოქსწვრილა ————— 137 კგ

კვარციტი ————— 87 კგ

სილიკომანგანუმის წიდა ————— 90 კგ

ელექტროენერგია ————— 1330 კვტ. სთ

7.4. გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის გამოდნობა

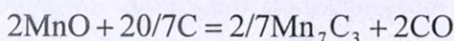
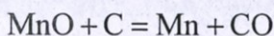
ლითონური მანგანუმის მისაღებ კაზმში აღმდგენელად გამოყენებულია გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი, რომლის ქიმიური შედგენილობა უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ ტექნიკურ პირობებს:

მარკა	Si	C	P	Fe
	არა ნაკლები	არა უმეტესი		
СМнП - В	28	0,05	0,05	2,0
СМнП-1	28	0,07	0,05	2,3
СМнП-2	28	0,15	0,07	2,8

გადასამუშავებელ სილიკომანგანუმს ღებულბენ მცირე (5 მვა) და დიდი (16,5 მვა) სიძლავრის ღუმელებში უწყვეტი პროცესით, მანგანუმის და სილიციუმის ერთდროული აღდგენით. კაზმი შედგება გადასამუშავებელი უფოსფორო მანგანუმიანი წიდისაგან, კოქსწვრილასა და კვარციტისაგან. სათანადო გათვლების საფუძველზე დადგენილია კაზმის თითოეული ულუფის შედგენილობა: 270 კგ დაბალფოსფორიანი წიდა, 85-90 კგ კვარციტი, 125-130 კგ. კოქსწვრილა და 10 კგ დოლომიტი.

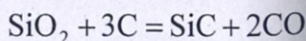
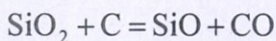
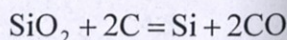
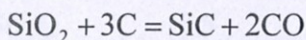
სილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ფოსფორით, რკინით და ნახშირბადით დაბალი შემცველობის შენადნის მიღება. ფოსფორის და რკინის დაბალ პროცენტს უზრუნველყოფს უფოსფორო და ურკინო გადასამუშავებელი მანგანუმიანი წიდის გამოყენება, ხოლო ნახშირბადის დაბალი შემცველობა შეიძლება მიღწეულ იქნეს მხოლოდ სილიციუმის მაღალი შემცველობით.

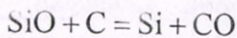
გახურების და დნობის პროცესში მიმდინარეობს შემდეგი ძირითადი რეაქციები (ანალოგიურად იხ. თავი „ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა“).



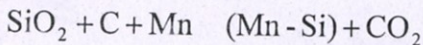
ამ რეაქციების საწყისი ტემპერატურა შეადგენს შესაბამისად 1401 და 1279⁰C.

მანგანუმის აღდგენასთან ერთად მიმდინარეობს სილიციუმის აღდგენა:

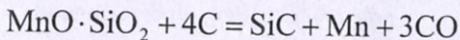
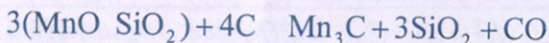
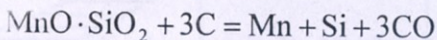
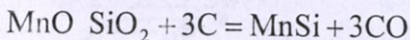




სილიციუმის აღდგენა მიმდინარეობს უფრო მაღალ ტემპურატურაზე, ვიდრე მანგანუმის ($\approx 1690^{\circ}\text{C}$), მაგრამ აღდგენილი მანგანუმის არსებობა აადვილებს სილიციუმის აღდგენას, რადგანაც წარმოიქმნება სილიციდები და სილიციუმის ხსნარი მანგანუმში.

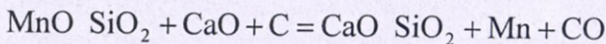


რადგანაც გადასამუშავებელი მანგანუმიანი წილები შეიცავენ SiO_2 -ის მნიშვნელოვან რაოდენობას, ამიტომაც მათ კაზმში შეაქვთ დიდი რაოდენობის მანგანუმის სილიკატები, რომლებიც დამატებით, კიდევ წარმოიქმნიან კაზმში არსებული კვარციტიდან. ეს გარემოება რამდენადმე აძნელებს მანგანუმის აღდგენას სილიკატებიდან, რომლებიც მიმდინარეობენ შემდეგი რეაქციებით:

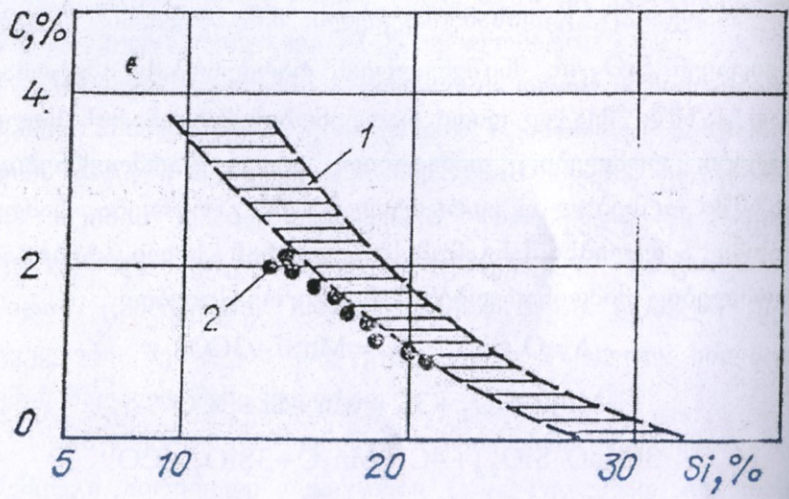


მაგრამ ამ რეაქციების შესწავლა გვიჩვენებს, რომ უკვე 1500°C პროცესი მიდის საკმაოდ კარგად.

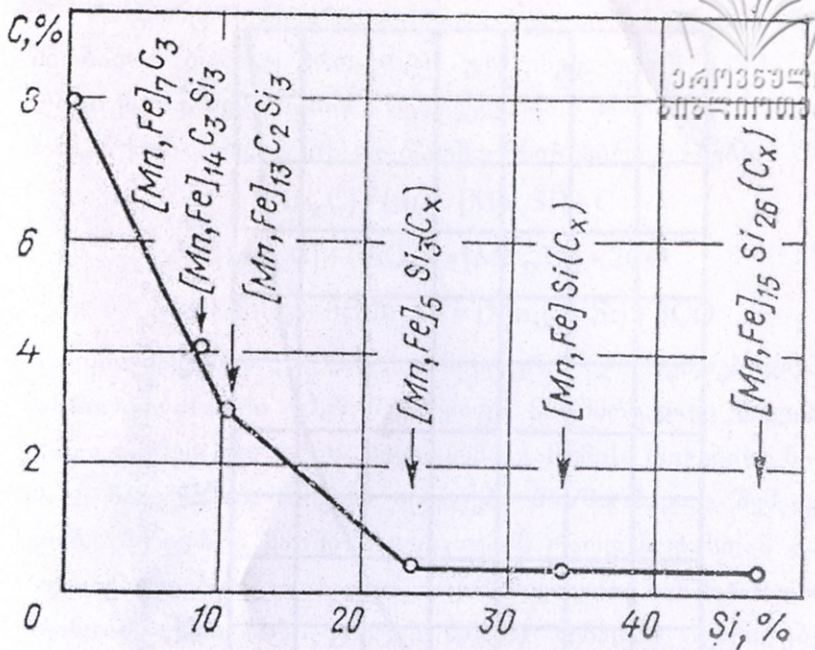
სილიკატებიდან მანგანუმის აღდგენა შეიძლება გაადვილდეს კაზმში გარკვეული რაოდენობის კირქვის შეტანით. კალციუმის ოქსიდის არსებობა კაზმში, ამაღლებს მანგანუმის ოქსიდის აქტივობას და მანგანუმის აღდგენა მიდის შემდეგი რეაქციით:



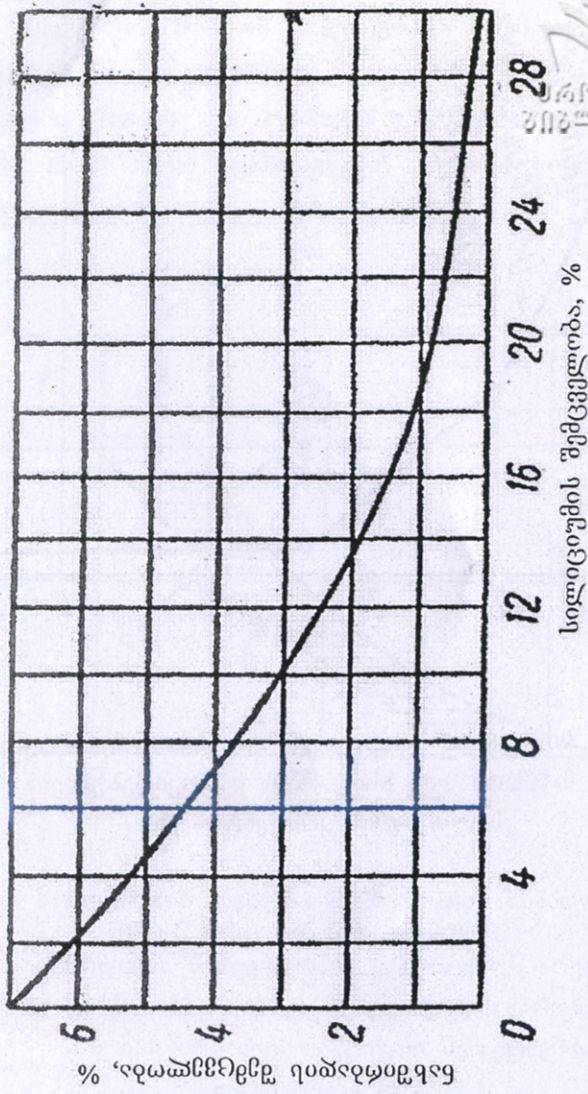
გასაგებია, რომ MnO -ს აქტივობის გაზრდას, ამავე დროს მიყვავართ SiO_2 -ის აქტივობის შემცირებისაკენ, რაც აუარესებს სილიციუმის აღდგენას. აღდგენის სპროცესებისადმი CaO -ს ეს ორმაგი გავლენა იმულებულს გვხვდის, რომ მისი გამოყენება კაზმში იყოს შეზღუდული.



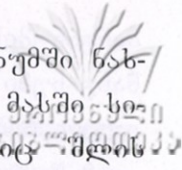
ნახ. 17. სილიციუმის გავლენა ნახშირბადის ხსნადობაზე $Si-O-C$ სისტემის ნაღნობებში
 1 - ნახშირბადის შემცველობის ცვლილების არეალი სილიციუმის სხვადასხვა შემცველობის დროს;
 2 - ნახშირბადის ფაქტიური შემცველობა სილიკომანგანუმში



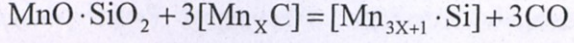
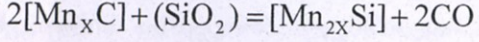
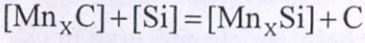
ნახ. 18. სილიკოკარბიდული ფაზები Mn-Si-C სისტემაში და ნახშირბადის ხსნადობის დამოკიდებულება სილიციუმის კონცენტრატზე



ნახ. 19. სილიკომანგანუმში ნახშირბადის შემცველობის დამოკიდებულება სილიციუმის შემცველობაზე

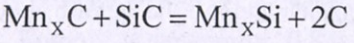
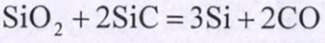


როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სილიკომანგანუმში ნახშირბადის დაბალ პროცენტს უზრუნველყოფს მასში სილიციუმის შესაბამისი შემცველობა, რომელიც მანგანუმის კარბიდებს და წარმოქმნის სილიციდებს:

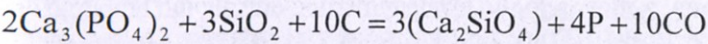


სილიციუმის ეს „ანტაგონისტური“ დამოკიდებულება ნახშირბადისადმი უზრუნველყოფს ნახშირბადით ძალიან დაბალი შემცველობის სილიკომანგანუმის მიღებას. ნახ. 19-ზე ნაჩვენებია, როგორ იცვლება ნახშირბადის შემცველობა შენადნში მასში სილიციუმის რაოდენობასთან დამოკიდებულებით. იმისათვის, რომ მივიღოთ ნახშირბადით სტანდარტული (არა უმეტეს 0,08%) შენადნი აუცილებელია, რომ სილიციუმი მასში იყოს არა ნაკლები 30%.

შენადნში ნახშირბადის შემცველობის შემცირებას ხელს უწყობს აგრეთვე სილიციუმის კარბიდების დაშლის რეაქციები:



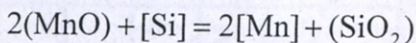
კაზმში არსებული ფოსფორი აღდგება შემდეგი რეაქციით:



და იგი ძირითადად გადადის ლითონში.

სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის თავისებურება მდგომარეობს მანგანუმის და სილიციუმის ერთდროულ აღდგენაში, რაც თავისთავად გააღწენას ახდენს, როგორც

მანგანუმის, ასევე სილიციუმის აღდგენაზე. რამდენადაც მანგანუმი ხელს უწყობს სილიციუმის აღდგენას და გვევლინება როგორც სილიციუმის დამლექავი, რამდენადაც კაჟმიწა, რაღაც ზომით „ბლოკირებას“ უკეთებს MnO-ს და წარმოქმნის შედარებით ძნელად აღდგენად სილიკატებს. მანგანუმის და სილიციუმის ამ ურთიერთკავშირის გარდა, აღნიშნულ პროცესში მიმდინარეობს ერთი მნიშვნელოვანი რეაქცია, რომელიც წონასწორობის დამყარებისას სისტემაში განსაზღვრავს სილიკომანგანუმის შედგენილობას:



ეს რეაქცია განსაზღვრავს MnO-ს შემცველობას წიდაში: რაც მეტი პროცენტული რეოდენობითაა სილიციუმი ლითონში, მით უფრო დაბალია მანგანუმი წიდაში.

როგორც სხვა პროცესებში, სილიკომანგანუმის მიღებისას გადამწყვეტ როლს თამაშობს ტემპერატურა. ამ პროცესის გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ ტემპერატურის 1400-დან 1600°C-მდე გაზრდით აღდგენის სიჩქარე თითქმის 4-ჯერ იზრდება.

სამრეწველო პირობებში, ტემპერატურა ღუმელში რეგულირდება ელექტროდების ჩაშვების სიღრმით და წილის რაოდენობით. გამოშვების მცირე რაოდენობის დროს ღუმელში გროვდება ბევრი წიდა, რაც იწვევს ელექტროდების მაღალ განლაგებას, ღუმელის მაღალ ჰორიზონტებში კაზმის ნაადრევ გახურებას და შესაბამისად დიდი რაოდენობით წილის წარმოქმნას. შედეგად, ღუმელის ქვედა ნაწილში, სადაც უნდა დამთავრდეს სილიციუმის აღდგენის და მანგანუმის კარბიდების დაშლის ყველაზე ძნელი და

ენერგოტევადი რეაქციები, ტემპერატურა ეცემა და ღუმელის წარმადობა მცირდება.

ღუმელის ქვედა პორიზონტებში ენერჯის მაღალი კონცენტრაციის შესაქმნელად და შესანარჩუნებლად აუცილებელია, რომ ღუმელში იყოს წიდის ოპტიმალური რაოდენობა. ამის მიღწევა შესაძლებელია ლითონის და წიდის გამოშვებების რაოდენობის გაზრდით. ლითონის და წიდის გამოშვება ხდება ერთი ხვრელიდან ფოლადის ციცხვებში ცვლაში 5-6-ჯერ.

სილიკომანგანუმი გამოშვებისას შეიცავს იმაზე მეტ ნახშირბადს, ვიდრე ეს ტექნიკური პირობებითაა დაშვებული. ამიტომ ჩამოსხმის წინ მას 40-45 წუთი აყოვნებენ ციცხვში. ამ დროს დნობის პროცესში წარმოქმნილი სილიციუმის კარბიდები (SiC), ზემოთ ამოტივტივდება და გადადის წიდაში, რის შედეგადაც მცირდება ნახშირბადის შემცველობა ლითონში. ეს დასტურდება შემდეგი მონაცემებით: გამოშვებისას ნახშირბადის რაოდენობა იყო - 0,30-0,47%, ხოლო დაყოვნების და ჩამოსხმის წინ კი - 0,07-0,12%. კოვში ერთი საათის დაყოვნების შემდეგ შენადნში ნახშირბადის შემცველობა აღწევს 0,08-0,1%, ხოლო სილიციუმის რაოდენობა კი 27-29%.

გადასაყრელი წიდის ჯერადობა 0,8-0,1-ის ფარგლებშია. მისი შედგენილობა კი შემდეგია, (%):

Mn	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	C
6	47	26	5	11	0,07	1,5

წიდაში მანგანუმის მცირე შემცველობა, სასაქონლო სილიკომანგანუმის წიდასთან შედარებით (14-16%) განპირობებულია, როგორც უკვე ზემოთ აღვნიშნეთ, ლითონში

სილიციუმის მაღალი შემცველობით - 29%-მდე (სასაქონლო სილიკომანგანუმში $Si=14-17\%$) წიდაში ნახშირბადის მაღალი შემცველობა გამოწვეულია მასში წვერილი კოქსის შერევით.

1 ტონა გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის 5 მვა სიმძლავრის ღუმელში მიღებისას, გვაქვს საკაზმე მასალების და ელექტროენერჯის შემდეგი ხარჯვითი კოეფიციენტები:

დაბალფოსფორიანი წიდა - 1512 კვ.

კვარციტი - 573 კვ.

კოქსწვერილა (მშრალი) - 599 კვ.

კირქვა (დოლომიტი) - 61 კვ.

ელექტროდები (გრაფიტის) - 37 კვ.

ელექტროენერჯია - 5100 კვტ-სთ.

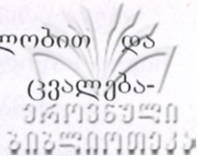
გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის დნობამ მცირე და დიდი სიმძლავრის ღუმელებში გვიჩვენა, რომ მისი გამოდნობა დიდი სიმძლავრის ღუმელებში ეკონომიკურად უფრო ხელსაყრელია, რადგანაც მკვეთრად მცირდება საკაზმე მასალების და ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი.

7.5. ლითონური მანგანუმის გამოდნობა

ლითონური მანგანუმის გამოდნობა წარმოადგენს ბოლო, მესამე ეტაპს ამ შენადნის მიღების სამსტადიიან პროცესში.

დნობას აწარმოებენ სამფაზა 5000 კვა სიმძლავრის ღუმელებში. ღუმელის აბაზანა ამოგებულია მაგნეზიტის აგურით. ამონაგის გამძლეობა საკმაოდ დაბალია (30-40

დღე), რაც გამოწვეულია წილების აგრესიულობით და პროცესის პერიოდულობით (სითბოს ხშირი ცვალებადობა).



საკაზმე მასალებად გამოყენებულია გადასამუშავებელი, დაბალფოსფორიანი მანგანუმიანი წიდა, გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი (აღმდგენილი) და კირი (მდნობი).

ადრე, დნობისათვის იყენებდნენ მყარ, დამსხვრეულ, გადასამუშავებელ წიდეებს. შემდეგ გადავიდნენ თხევად, მანგანუმიან წიდეებზე, რაც საშუალებას იძლევა შემცირდეს ელექტროენერჯის ხარჯი, გაიზარდოს ღუმელის წარმადობა და გაუმჯობესდეს ლითონის ხარისხი (მაღალი მარკის ლითონის უფრო დიდი გამოსავალი). კაზმის ანგარიშის დროს ითვალისწინებენ ელემენტების, დნობის პროდუქტებს შორის განაწილებას, მიღწეულ მახვენებლებს.

კაზმის ერთი ულუფა შედგება:

1. უფოსფორო გადასამუშავებელი მანგანუმიანი წიდა
(Mn 48%) - 100 კგ
2. გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი
(30/64) - 33 კგ
3. კირი - 75 კგ.

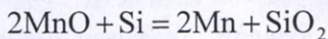
ლითონური მანგანუმის გამოდნობის პროცესი მოიცავს შემდეგ პერიოდებს:

- ა) აბაზანის გაწყობა;
- ბ) ღუმელის ქვედა სილიკომანგანუმის ერთი ნაწილის ჩატვირთვა;
- გ) თხევადი, გადასამუშავებელი წიდის ჩასხმა ღუმელში;
- დ) კირის ჩატვირთვა;

ე) კაზმის გადნობა და სილიკომანგანუმის დარჩენილი ნაწილის ჩატვირთვა;

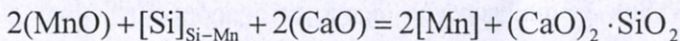
ე) დნობის გამოშვება.

ლითონური მანგანუმის მიღების ტექნოლოგიური პროცესს საფუძვლად უდევს დაბალფოსფორიან წიდაში არსებული მანგანუმის ქვეჟანგის (MnO), გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის სილიციუმით აღდგენის რეაქცია:



$$\Delta G^0 = -103367 + 35,85T$$

სუფთა ფაზების შემთხვევაში ეს რეაქცია ეგზოთერმულია. რეალური პროცესის პირობებში მოცემული რეაქცია დაკავშირებულია მთელ რიგ სხვა რეაქციებთან, რის შედეგადაც აღდგენის პროცესი უფრო რთული სქემით მიმდინარეობს:



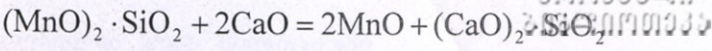
$$\Delta G_T^0 = 53000 - 41,86T$$

მოცემული ჯამური რეაქცია ენდოთერმულია და მისი წარმატებით წარმართვისათვის საჭიროა, რომ ღუმელის აბაზანა კარგად იყოს გახურებული ($\approx 1700^\circ C$). ამავე დროს საჭიროა, რომ კაზმში გვექონდეს საკმარისი რაოდენობის CaO , რომელიც წარმოქმნილ SiO_2 შეკრავს ორთოსილიკატად.

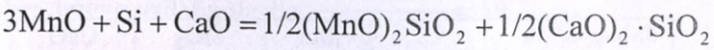
მანგანუმის აღდგენის მაღალი მაჩვენებლის მისაღწევად აუცილებელია, რომ წიდის ფუძიანობა (CaO/SiO_2) იყოს 1,55-1,65, რაც უზრუნველყოფს $(CaO)_2 \cdot SiO_2$ წარმოქმნას. ფუძიანობის შემცირებას 1,40-მდე მიყვავართ MnO -ს



აქტივობის შემცირებამდე, რომელიც შემდეგი რეაქციით გამოისახება:



სილიკომანგანუმის უკმარისობის პირობებში მიმდინარეობს MnO-ს ნაწილობრივი შეკვრა სილიკატად:



წილის ჯერადობა ამ პროცესში საკმაოდ მაღალია და იგი მერყეობს 3,2-3,35 ფარგლებში.

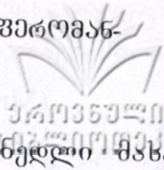
საკაზმე მასალების და ელექტრონერგიის ხარჯვითი კოეფიციენტები 1 ბაზური ტონა ლითონური მანგანუმის მისაღებად შემდეგია:

- უფოსფორო წიდა (48%Mn) – 2097 კგ
- გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი (30/64) – 633 კგ
- კირი – 1529 კგ
- გრაფიტის ელექტროდები – 9,6 კგ
- ელექტრონერგია – 2412 კვტ-სთ
- ელექტრონერგიის ჯამური ხარჯი (გადამუშავების სამივე სტადიაზე) – 9578 კვტ-სთ

ელემენტების განაწილება დნობის პროდუქტებს შორის შემდეგია, %

ელემენტი	ნედლეული	გადაღის, %		
		ლითონში	წიდაში	აორთქლდება
Mn	წიდა	46,5	45,0	8,5
	სილიკომანგანუმი	100,0	–	–
Fe	წიდა	90,0	10,0	–
	სილიკომანგანუმი	100,0	–	–
P	კაზმი	60,0	30,0	10,0

7.6. საშუალონახშირბადიანი (რაფინირებული) შებენიანი-
ბანუმიზის ბამოსაღნობი კაზმის ანბარიში



ანგარიში წარმოებს 100 კგ მაღანზე. ნედლი მასა-
ლების შედგენილობა მოცემულია ცხრილში:

მასალა, %	Mn	SiO ₂	CaO
მანგანუმის მაღანი	50	11	-
სილიკომანგანუმი	70	23	-
კირი	-	-	90

მაღნის MnO₂ იშლება Mn₃O₄. მაღნიდან 48%Mn აღ-
დგება ლითონურ მანგანუმამდე, საიდანაც 32% გადადის
ლითონში, 16% აორთქლდება. მანგანუმის საერთო რაო-
დენობის 52% აღდგება MnO-მდე და გადადის წიდაში.
სილიკომანგანუმის სილიციუმის გამოყენება არის 76%,
24% იჟანგება ჰაერის ჟანგბადით.

100 კგ მაღნიდან მანგანუმი აღდგება MnO-მდე.

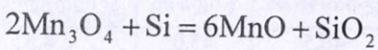
$$100 \cdot 0,5 \cdot 0,52 = 26 \text{ კგ.}$$

Mn-მდე კი

$$100 \cdot 0,5 \cdot 0,48 = 24 \text{ კგ.}$$

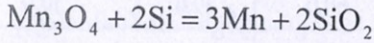
აუცილებელია სილიციუმი:

Mn₃O₄-ის აღსადგენად MnO-მდე შემდეგი რეაქციით:



$$\frac{26 \cdot 28}{330} = 2,21 \text{ კგ.}$$

Mn-მდე აღსადგენად შემდეგი რეაქციით კი საჭიროა;



$$\frac{24 \cdot 56}{165} = 8,14 \text{ კგ.}$$

აუცილებელია სულ სილიციუმი
 $8,14 + 2,21 = 10,34 \text{ კგ.}$

ანუ სილიკომანგანუმი $\frac{10,35}{0,76 \cdot 0,23} = 59,3 \text{ კგ.}$

დნობის დროს სილიკომანგანუმიდან წარმოიქმნება
 SiO_2

$$\frac{59,3 \cdot 0,23 \cdot 60}{28} = 29,4 \text{ კგ.}$$

მადნიდან შემოდის SiO_2 $100 \cdot 0,11 = 11 \text{ კგ.}$

სულ SiO_2 იქნება $11 + 29,4 = 40,4 \text{ კგ.}$

წილის წარმოსაქმნელად რომლის ფუძიანობა იქნება

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1,4 \text{ საჭიროა } \frac{40,4 \cdot 1,4}{0,9} = 62,8 \text{ კგ კირი.}$$

კაზმის შედგენილობა იქნება, კგ:

მადანი - 100

სილიკომანგანუმი - 59,3

კირი - 62,8

საშუალონახშირბადიანი
 ფერომანგანუმის შედგენილობა

Mn	Si	P	C
92,7	1,69	0,22	1,17
92,0	2,02	0,23	1,08
91,8	1,31	0,24	1,08



1. Гасик М.И., Емлин Б.И. Электрометаллургия ферросплавов Киев, „Виша школа“, 1983.
2. Хитрик С.И., Гасик М.И., Кучер А.Г. Электрометаллургия марганцевых ферросплавов. Киев, „Техника“, 1971.
3. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. Москва, Металургия, 1988.
4. Хитрик С.И., Гасик М.И., Емлин Б.И. Конспект лекций по специальному курсу „Электрометаллургия стали и ферросплавов“. Днепропетровск, 1972.
5. Бобкова О.С. Силикотермические восстановление металлов. М.: Металургия, 1981.
6. Гасик М.И. Электроды рудовосстановительных электропечей М.: Металургия, 1984.
7. Емлин Б.И., Гасик М.И. Справочник по электротермическим процессам. М.: Металургия, 1978.
8. Шедровицкий Я.С. Производство Ферросплавов в закрытых печах. М.: Металургия, 1975.
9. Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металургия, 1985.
10. Гаврилов В.И., Гасик М.И. Силикотермические процессы. Киев, 2000.
11. Хвичия А.Т. и др. Переработка марганцевых руд методом моношихты. -В сб.: Труды ГПИ. Тбилиси, „Мецნიერება“, 1965.
12. Хвичия А.Т. и др. Выплавка силикомарганца из рудных брикетов в печи мощностью 16,5 ква. - „Сталь“, 1970, №2.

13. Якушевич Н.Ф. и др. Растворимость углерода в силикомарганце. „Известия вузов. Черная металлургия“ 1988, №10.
14. Кекелидзе М.А. и др. Агломерация чуиатурских концентратов. Тбилиси, „Мецниереба“, 1968.

იბეჭდება ავტორის მიერ წარმოდგენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 28.05.2009. ხელმოწერილია დასაბეჭდად
05.06.2009. ქალაქის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი II.
ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი,
კოსტავას 77





ზურაბ სიმონგულაშვილი (10.08.1946წ.)
ინჟინერ-მაბალურგი, 1969წ. დაამთავრა
საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი.
ახადამიური დოქტორი, სტუ-ს შავი
ლითონების მამბალურგიის ათადრის სკოლი
პროფესორი. 100 სამეცნიერო-ტექნიკური
ნაშრომის, 12 გამოგონების და საქართველოს
პატენტის ავტორი.

K 270.519
3

ISBN 978-9941-14-563-6



9 789941 145636