

ნ. წერეთელი, ქ. წერეთელი

**ფაროვნადნობების
ელექტრომეტალურგია**

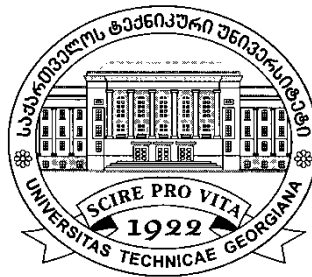


“ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნ. წერეთელი, ქ. წერეთელი

ფეროშენაძნობების
ელექტრომეტალურბია



რეგისტრირებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ

თბილისი
2009

განხილულია ფეროშენადნობების მიღების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები. ნაჩვენებია ელემენტის ჟანგბადთან სწრაფვის თერმოდინამიკა და რეაქციის წონასწორობასთან დაკავშირებული საკითხები. მოცემულია ფეროშენადნობთა წარმოებაში გამოყენებული აღმდგენლების (C, Si, Al) დახასიათება და გამოსადნობი ელექტრომეტალურ-გიული ღუმელების კლასიფიკაცია. ამასთან, განხილულია საკაზმე მასალების მომზადების მეთოდები და მანგანუმიანი, სილიციუმიანი და ქრომიანი ფეროშენადნობების გამოდნობის ტექნოლოგია.

დამხმარე სახელმძღვანელო დიდ სამსახურს გაუწევს უმაღლესი სასწავლებლის სტუდენტებს შავი ლითონების მეტალურგიის სპეციალობით და ფეროშენადნობების წარმოებაში დასაქმებულ ინჟინერ-ტექნიკურ პერსონალს.

რეცენზენტი სრული პროფესორი ზ. სიმონგულაშვილი

**ედგენება ჩვენი პედაგოგისა და გამოჩენილი მეცნიერის,
პროფესორ სერგო (სეირან) მაზმიშვილის ნათელ ხსოვნას**

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-346-5

<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.

შინაარსი

შესავალი -----	6
1. საკაზმე მასალების მომზადება დნობისათვის -----	11
2. კონცენტრატების დანაჭროვნების ტექნოლოგია -----	16
3. ნასშირბადამდგენელის თავისებურებანი -----	21
4. ოქსიდების აღდგენა სილიციუმით -----	26
4.1 სილიციუმით აღდგენის თავისებურებანი -----	27
5. ოქსიდების აღუმინით აღდგენა -----	29
5.1 აღუმინით აღდგენის თავისებურებანი-----	29
6. ფლუსი -----	31
7. ფეროშენადნობების გამოსადნობი ელექტროდუმელების დახასიათება -----	32
7.1 ელექტრომეტალურგიული ღუმელების კლასიფიკაცია -----	32
7.2 ფეროშენადნობების ღუმელების კონსტრუქცია -----	34
7.3 ფეროშენადნობების ღუმელების ამონაგი -----	35
7.4 ელექტროდი -----	36
7.5 ფეროშენადნობების ღუმელის ელექტრომოწყობილობა და სამუშაო სივრცის ზომები -----	41
7.6 ძალოვანი ტრანსფორმატორი -----	44
7.7 მოკლე ქსელი -----	48
7.8 ელექტროდების, ელექტროდების გაშლისა და ღუმელის აბაზანის დიამეტრი -----	51
8. ფეროშენადნობების მიღების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები -----	55
8.1 ელემენტის აღდგენის შესაძლებლობის განსაზღვრა მისი ოქსიდიდან -----	58

8.2 რეაქციის წონასწორობა, შექცევადი და შეუქცევადი რეაქციები -----	62
8.3 რეაქციის წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა ---	63
8.4 ლე-შატელიეს პრინციპის გამოყენება მეტალურგიული პროცესის ანალიზისას -----	69
8.5 რეაქციის გამოსავალი და მისი ზრდის მეთოდები -	75
9. მანგანუმიანი შენადნობების წარმოება -----	79
9.1 მანგანუმის წარმოება მსოფლიოში -----	79
9.2 მანგანუმის წარმოება საქართველოში -----	84
9.3 ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია -----	90
9.4 ფეროსილიკომანგანუმის (სილიკომანგანუმის) გამოდნობის ტექნოლოგია -----	103
9.5 ლითონური მანგანუმის მიღების ტექნოლოგია ელექტრომეტალურგიული მეთოდით -----	119
9.5.1 გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის გამოდნობა	123
9.5.2 ლითონური მანგანუმის გამოდნობა -----	125
9.6 საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა -----	127
10. სილიციუმისა და ფეროსილიციუმის მიღების ტექნოლოგია -----	132
10.1 ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენის პროცესის თეორიული საფუძვლები -----	138
10.2 ფერომანგანუმის გამოსადნობი ელექტროლუმელის ელექტრული მახასიათებლები -----	140
10.3 ფეროსილიციუმის გამოდნობისა და ჩამოსხმის ტექნოლოგია -----	142

10.4 კრისტალური სილიციუმის გამოდნობის ტექნოლოგია -----	147
10.5 სილიციუმის კარბიდის წარმოების ტექნოლოგია	150
11. ქრომიანი შენადნობების ელექტრომეტალურგია ---	154
11.1 ქრომის მადნები და მინერალები -----	155
11.2 მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია -----	156
11.3 ფეროსილიკოქრომი -----	162
11.4 მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია -----	165
11.5 საშუალონახშირბადიანი ფეროქრომის მიღება ჯანგბად-კონვერტორული და სილიკოთერმული მეთოდით -----	172
11.6 ლითონური ქრომისა და ფეროქრომის მიღება ალუმინოთეთმული მეთოდით -----	176
11.6.1 ფეროქრომის მიღების ალუმინოთეთმული ტექნოლოგია -----	178
11.7 აზოტირებული ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია -----	179
11.7.1 აზოტირებული ფეროქრომის მიღება მყარ მდგომარეობაში -----	181
11.7.2 ფეროქრომის აზოტირება თხიერ მდგომარეობაში -----	182
11.8 გადასამუშავებელი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია -----	183
ძირითადი ლიტერატურა -----	188

შესავალი

ფეროშენადნობები არის რკინის შენადნობი სხვადასხვა ელემენტებთან. მას ფოლადის წარმოების მარილსა და წიწაკას უწოდებენ. არც ერთი ტონა ფოლადი არ დნება ფეროშენადნობების დანამატის გარეშე, რადგან განუანგვისა და ლეგირების მიზნით, თხიერ ფოლადსადნობ აბაზანაში მისი დამატება აუმჯობესებს ფოლადის ფიზიკო-მექანიკურ თვისებებს. გარდა ფოლადის წარმოებისა ზოგიერთი სახის ფეროშენადნობები გამოიყენება აგრეთვე ფერად მეტალურგიასა და ქიმიურ წარმოებაში. ფეროშენადნობების ხარჯი ერთ ტონა ფოლადზე 7-9 კგ შეადგენს.

ფეროშენადნობებს მიეკუთვნება ორმაგი (ფეროსილიციუმი, ფერომანგანუმი, ფეროვოლფრამი და სხვა) და სამმაგი (ფეროსილიკომანგანუმი, ფეროსილიკოქრომი და სხვა) შენადნობებიც, აგრეთვე ისეთი მცირერკინაშემცველი შენადნობები, როგორცაა კრისტალური სილიციუმი ($Fe < 1,5\%$), ლითონური მანგანუმი ($Fe < 3\%$), ლითონური ქრომი, სილიკოკალციუმი, სილიკოალუმინი და სხვა.

სილიციუმი, ქრომი და მანგანუმი ფეროშენადნობების ძირითადი კომპონენტებია, რადგანაც მათი რაოდენობა რკინასთან ერთად განსაზღვრავს ფეროშენადნობების მიღების სირთულეს, საკაზმე მასალებისა და ელ. ენერგიის ხარჯს ტონა პროდუქტზე და მიღებული შენადნობების ხარისხს და დანიშნულებას.

ამა თუ იმ შენადნობების (რომელიც სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს წამყვან ელემენტს) მიღების

ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების სრულყოფილი შეფასების მიზნით, შემოღებულია ბაზური წონის მცნება.

მაგალითად, სტანდარტის მიხედვით ΦC45-ში სილიციუმის შემცველობა 41-47% ინტერვალში მერყეობს. ბაზურ ტონად მიჩნეულია ის ტონა, რომელშიც სილიციუმის შემცველობა 45% იქნება. სილიციუმის ბაზურ ტონაში სილიციუმისა და მანგანუმის პროცენტული შემცველობათა ჯამი 82-ს შეადგენს. ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ბაზური წონა 75% Mn-ის რაოდენობას ითვალისწინებს, ხოლო მანგანუმის კონცენტრატების ბაზური წონა კი 48% მანგანუმს.

ნატურალური წონიდან ბაზურ წონაზე გადაანგარიშება შემდეგი გამოსახულებიდან ხდება:

$$Q_{\text{ბაზტ}} = \frac{Q_{\text{ნატტ}} * A\%}{45\%} \quad (\text{ფეროსილიციუმისთვის})$$

$$Q_{\text{ბაზტ}} = \frac{Q_{\text{ნატტ}} * A\%}{82\%} \quad (\text{სილიკომანგანუმისთვის})$$

$$Q_{\text{ბაზტ}} = \frac{Q_{\text{ნატტ}} * A\%}{48\%} \quad (\text{მანგანუმის კონცენტრატისთვის})$$

$$Q_{\text{ბაზტ}} = \frac{Q_{\text{ნატტ}} * A\%}{75\%} \quad (\text{ნახშ. ფერომანგანუმისთვის})$$

სადაც, A-შენაღნში სილიციუმის ფაქტიური შემცველობაა %-ში (ფეროსილიციუმში), სილიკომანგანუმისთვის A მანგანუმისა და სილიციუმის პროცენტული შემცველობის ჯამია, ხოლო მანგანუმის კონცენტრატისა და ფერომანგანუმისთვის კი A მასალებში მანგანუმის შემცველობაა.

Q_{ნატ.ტ}- ნატურალური წონაა.

ანალოგიურად გადაითვლება ნედლეული მასალებისა და ელ. ენერჯის ხარჯი და სხვა.

ფეროშენადნობების მიღების რამდენიმე გზა არსებობს:

➤ ელექტროთერმული (ნახშირბადადგენითი და სილიკოთერმული) მეთოდი. გამოდნობა ხდება რკალურ მადანთერმულ ღუმელში ელექტროენერჯის საშუალებით გამოყოფილი სითბოს ხარჯზე.

➤ ლითონთერმული მეთოდი. გამოდნობა ხდება კერიაში გარედან სითბოს მიწოდების ხარჯზე. პროცესისათვის საჭირო სითბო ეგზოთერმული რეაქციებით გამოიყოფა.

➤ ელექტროლიტური მეთოდი. ელემენტების აღდგენა ხდება გოგირდმჟავას ხსნარში გადასული შესაბამისი ოქსიდებიდან (Mn,Gr).

➤ გამოდნობა ბრძმედის ღუმელში. აღნიშნული მეთოდით შესაძლებელია ნახშირბადიანი ფერომანგანუმისა და ღარიბი ფეროსილიკომანგანუმის გამოდნობა (9-14% Si).

➤ ჟანგბადკონვერტორული მეთოდი, რომელიც თხევადი ლითონის რაფინაციის პროცესს ემყარება (ვაკუმში ან მის გარეშე).

➤ გამოდნობა პლაზმურ ღუმელებში.

ფეროშენადნობების ძირითად რაოდენობას ელ. ღუმელებში ელექტროთერმული მეთოდით ღებულობენ.

აღმდგენელის ნაირსახეობის მიხედვით ელექტროთერმული და ლითონთერმული მეთოდები შეიძლება იყოს:

➤ ნახშირბადაღმდგენითი, როდესაც აღმდგენელად გამოყენებულია ნახშირბადი (კოქსწვრილა, ანტრაციტი და ა.შ.). ეს ყველაზე იაფი აღმდგენელია.

➤ სილიკოთერმული, სადაც აღმდგენელად გამოყენებულია სილიციუმი (სილიკომანგანუმი, სილიკოქრომი, ფეროსილიციუმი). ეს აღმდგენელი გაცილებით ძვირია კოქსწვრილასთან შედარებით, თუმცა უნახშირბადო ფეროშენადნობების მიღების საშუალებას იძლევა.

➤ ალუმინოთერმული, აღმდგენელად გამოყენებულია ალუმინი, რომელიც მართალია ყველაზე ძვირია, მაგრამ ძნელად აღსადგენი ოქსიდების აღდგენასა და უნახშირბადო შენადნობების მიღებას უზრუნველყოფს.

იმის და მიხედვით გამოდნობისას გამოყენებულია თუ არა ფლუსი (კირი, კირქვა, დოლომიტი, კვარციტი და ა.შ.), ფეროშენადნობების მიღების პროცესი იყოფა ფლუსიანად და უფლუსოდ.

ფეროშენადნობების გამოდნობისას ყოველთვის წარმოიქმნება წიდა, თუ წიდის რაოდენობა იმდენად მცირეა, რომ ლითონის გამოშვებისას საჭირო არ ხდება სპეციალური ჭურჭლის (ციცხვი, წიდამზიდი) გამოყენება, პროცესს პირობითად უწოდოს უწოდებენ (ფეროსილიციუმის გამოდნობა), წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცესი წიდიანია.

და ბოლოს, ფეროშენადნობების გამოდნობის პროცესი შეიძლება იყოს უწყვეტი და პერიოდული (წყვეტილი). უწყვეტი პროცესის შემთხვევაში ჩართულ ღუმელს განუწყვეტლივ აწვდიან კაზმს, ხოლო შენადნობს პერიოდულად უშვებენ (გრაფიკის შესაბამისად).

წყვეტილი პროცესისას ღუმელში ერთ ან რანდენიმე ულუფად ყრიან კაზმს, გადნობისა და აღდგენითი პროცესების დამთავრების შემდეგ ღუმელს გამორთავენ და ახდენენ ლითონისა და წიდის გამოშვებას. დაცარიელებულ ღუმელში თავიდან ჩატვირთავენ კაზმს და გამოდნობის ციკლს კვლავ იმეორებენ.

1. საკაზმე მასალების მომზადება ღნობისათვის

ღუმელის წარმადობასა და მისი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ზრდის ეფექტიანობას კაზმის მომზადების ხარისხი განსაზღვრავს.

ბევრი სამუშაოებია ჩატარებული იმის დასადგენად, ღუმელის ნორმალური მუშაობისათვის თუ რა ზომის საკაზმე მასალები უნდა იქნეს გამოყენებული. კერძოდ დადგენილია, რომ **ΦC45**-ის გამოდნობისას კვარციტის ზომა 25-60 მმ-ის ფარგლებში უნდა იცვლებოდეს, ხოლო **ΦC 75**-ის გამოდნობის შემთხვევაში კი 40-100 მმ დიაპაზონში მერყეობდეს. კოქსწვრილას ფრაქცია 5-20 მმ-ს (<25 მმ) უნდა შეადგენდეს.

აღმდგენელის ზომის შერჩევასას გასათვალისწინებელია ის გარემოებაც, რომ მაღალ ტემპერატურაზე კაზმის ელ.წინაღობის ძირითადი მარეგულირებელი არის აღმდგენელი და რაც უფრო წვრილფრაქციულია იგი, მით უფრო მაღალია მისი ელ.წინაღობა. თუმცა უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ წვრილფრაქციული აღმდგენელის ზომაზე მეტი რაოდენობით გამოყენება მკვეთრად აუარესებს კაზმის აირგანვლადობას და იწვევს საკაზმე მასალების შეცხობას.

ბუნებაში არსებული მადნები, როგორც წესი სასარგებლო მინერალებთან ერთად ფუჭე ქანსაც შეიცავს. მადანი მადნური და არამადნური მინერალების ის ბუნებრივი ერთობლივობაა, რომლიდანაც ამა თუ იმ ელემენტის ამოკრეფა ეკონომიურად არის გამართლებული.

მოპოვების მიხედვით მადანი მომზადების სხვადასხვა სტადიას გადის:

- დამსხვრევა, დახარისხება (სიმსხოს მიხედვით);
- გამდიდრება;
- გაშუალებება;
- დანაჭროვნება.

ღია წესით მოპოვებისას მადნის ცალკეული ნაჭრების ზომა 1000-1200 მმ-ს აღწევს, ხოლო მიწისქვეშა მოპოვების შემთხვევაში კი 300-800 მმ-ს, ამიტომაც საჭირო ხდება მადნის დამსხვრევა და დაწერილმარცვლოვნება. დამსხვრევას სპეციალურ სამტერეველაში ახორციელებენ, ხოლო დაფქვას (-1 მმ) წისქვილებში ახდენენ.

დამსხვრევა და დაფქვა შრომატევადი და ძვირადღირებული პროცესია. მასზე მთელი გადასამუშავებელი ფაბრიკის მთლიანი ტექნოლოგიური ციკლის ღირებულების 35-70% იხარჯება. მადნის დამსხვრევა სტადიებად მიმდინარეობს. ყოველი სტადია დამსხვრევის ხარისხით ხასიათდება. დამსხვრევის ხარისხი დასამსხვრევი და დამსხვრეული მადნის ნაჭრების მაქსიმალური დიამეტრების შეფარდებით განისაზღვრება. მდიდარი მადნების გამოყენების შემთხვევაში დამსხვრეული მადანი, შეიძლება უშუალოდ მიეწოდოს სადნობ აგრეგატს, ხოლო ღარიბი მადნების გამოყენებისას, დამსხვრეული მადანი ღუმელში ჩატვირთვამდე გამდიდრების ტექნოლოგიურ ციკლს გადის.

მოპოვებული მადანი არამარტო გრანულომეტრიული შედგენილობითაა ზოგჯერ მეტალურგიული წარმოებისთვის მიუღებელი, არამედ ქიმიური შემცველობითაც, ამიტომ საჭირო ხდება სასარგებლო ელემენტის რაოდენობის გაზრდა, ე.ი. მადნის გამდიდრება.

მადნის გამდიდრება არის სასარგებლო წიაღისეულში მადნური ნაწილისა და ფუჭე ქანის განცალკევების პროცესი. გამდიდრების შედეგად მიიღება სასარგებლო ელემენტით მდიდარი ნაწილი, რომელსაც კონცენტრატი ჰქვია და ღარიბი ნაწილი, რომელსაც კუდს უწოდებენ. კონცენტრატში სასარგებლო ელემენტის შემცველობა მაღალია ვიდრე მადანში, კუდში კი პირიქით.

მადნის გამდიდრების რამდენიმე მეთოდი არსებობს. ყველაზე მეტად გამდიდრების მექანიკური მეთოდებია გაგრძელებული (გრავიტაცია, მაგნიტური სეპარაცია და ფლოტაცია).

ბრავიტაციული გამდიდრებისას მინერალების გაყოფა სიმკვრივის მიხედვით ხდება. ამ მეთოდს მაშინ იყენებენ, როდესაც სასარგებლო მინერალები მძიმე ან მსუბუქია ფუჭე ქანთან შედარებით. გრავიტაციულ გამდიდრებას მშრალ (ჰაერი) ან სველ გარემოში ახდენენ. სველი გრავიტაცია, როგორც წესი დაღეჭვით ხორციელდება და წყლის გარდა მძიმე სითხეებიც (სუსპენზია) შეიძლება იქნეს გამოყენებული. გამდიდრების ეს მეთოდი ძლიერ ეფექტურია მანგანუმისა და რკინის მადნების გამდიდრების შემთხვევაში.

მაგნიტურ სეპარაციას მაშინ იყენებენ, როცა მინერალებს სხვადასხვა მაგნიტური თვისება გააჩნია. ეს

მეთოდი მაგნეტიტური მადნებისა და მანგანუმის კარბონატული მადნების გასამდიდრებლად გამოიყენება.

ფლოტაციური მეთოდი ემყარება ამა თუ იმ სითხის მიერ მადანში არსებული სასურველი მინერალებისა და ფუჭე ქანის ზედაპირის დასველების სხვადასხვა უნარს. ეს მეთოდი გამოიყენება წვრილფრაქციული (1-0 მმ) მასალების გასამდიდრებლად.

გამდიდრების ტექნოლოგიის ეფექტიანობაზე შეიძლება ვიმსჯელოთ მიღებული კონცენტრატის რაოდენობით (გამოსავალით), მასში წანყვანი ელემენტის შემცველობითა და კონცენტრატში ამ ელემენტის ამოკრეფით.

კონცენტრატის გამოსავალსა და სასურველი ელემენტის ამოკრეფას შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$\xi = \frac{\gamma \cdot \beta}{\alpha} \quad \text{სადაც } \xi - \text{ელემენტის ამოკრეფა, \%}$$

γ - კონცენტრატის გამოსავალი, %

β - ელემენტის შემცველობა კონცენტრატში, %

α - ელემენტის შემცველობა მადანში, %.

თავის მხრივ კონცენტრატის გამოსავალი შემდეგი გამოსახულებიდან იანგარიშება:

$$\alpha - \theta$$

$$Y = \frac{\beta - \theta}{\beta - \theta} \cdot 100$$

სადაც θ - ელემენტის შემცველობაა კუდში, %

მაგალითად, თუ მადანში მანგანუმის შემცველობა არის 20% (α), კონცენტრატში-50% (β) და კუდში 10% (θ), მაშინ კონცენტრატის გამოსავალი იქნება

$$Y = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \cdot 100 = \frac{20 - 10}{50 - 10} \cdot 100 = 25\%$$

ხოლო მანგანუმის ამოკრეფა კონცენტრატში კი

$$\xi = Y \cdot \frac{\beta}{\alpha} = 25 \cdot \frac{50}{20} = 62,5\%$$

მანგანუმის დანაკარგი კუდში შეადგენს:

$$100 - 62,5 = 37,5\%$$

2. კონცენტრატების დანაჭროვნების ტექნოლოგია

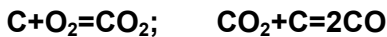
როგორც აღნიშნეთ გამდიდრების ტექნოლოგია მადნების წინასწარ დამსხვრევას ითვალისწინებს. რაც უფრო დაწვრილმარცვლოვანებულია მადანი, მით უფრო გაიოლებულია მადნური მინერალებისა და ფუჭე ქანის ერთმანეთისაგან განცალკევების პროცესი. კაზმის აირგანვლადობის გაუმჯობესების მიზნით ღუმელში გამოყენებამდე ზოგჯერ საჭირო ხდება კონცენტრანტების დანაჭროვნება (გამსხვილება).

დანაჭროვნება არის წვრილფრაქციული მასალის (მადანი, კონცენტრატი, მტვერი) ნატეხოვან მასალად გარდაქმნის პროცესი. დანაჭროვნების სამი მეთოდი არსებობს: აგლომერაცია, დაგუნდავება და დაბრიკეტება.

აგლომერაცია დანაჭროვნების ისეთი მეთოდია, რომელიც სითბოს ხარჯზე წვრილფრაქციული მასალების შეცხოვას ითვალისწინებს. შეცხოვის პროცესი სპეციალურ სააგლომერაციო ლენტაზე ხორციელდება და საჭირო სითბო სააგლომერაციო კაზმში შერეული სათბობის წვის შედეგად გამოიყოფა (ზოგ შემთხვევაში სითბო გარედანაც მიეწოდება). აგლომერაცია მასალის დანაჭროვნების ყველაზე ფართოდ გავრცელებული და მაღალეფექტური მეთოდია. იგი 10-0 მმ ფრაქციული შედგენილობის მქონე მასალების გასამსხვილებლად გამოიყენება. როგორც პრაქტიკა აჩვენებს სილიკომანგანუმისა და ფერომანგანუმის კაზმში აგლომერატის გამოყენება (მანგანუმის კონცენტრატით მიღებული) ღუმელის ნორმალურ მუშაობას,

აირგანვლადობის გაუმჯობესებასა და ელექტროდების ღრმად ჩაჯდომას უზრუნველყოფს. მიუხედავად ამისა, აგლომერაციის პროცესში წარმოქმნილი სილიკატური ნაერთები მანგანუმის აღდგენას გარკვეულ წილად მაინც აფერხებს. აგლომერაციის პროცესი ძირითადად ხორციელდება ცეცხლრიკის ცხაურაზე კაზმის ფენებს შორის ჰაერის გაწოვით. ცხაურაზე 30-35 მმ სიმაღლეზე ჯერ ტვირთავენ საკუთარ ნაბრუნს (ფრაქცია 10-25 მმ), შემდეგ აყრიან კაზმს (250-350 მმ). ცეცხლრიკების ქვეშ 7-10 კპა წნევით ახდენენ ჰაერის გაწოვას. პროცესის დასაწყებად სპეციალური ასანთები მოწყობილობით 1200-1300°C ტემპერატურაზე ახურებენ ზედა ფენას, რის შედეგადაც ხდება სათბობის აალება. გაწოვის შედეგად წვის ზონა 10-40 მმ/წთ სიჩქარით ზემოდან ქვემოთ გადაინაცვლებს და საგებამდე მიღწევისას შეცხოების პროცესი მთავრდება. როგორც წესი აგლომერაციის პროცესი 10-20 წუთს გრძელდება. წვის ზონაში ტემპერატურა 1500°C-ს აღწევს. წვის პროდუქტები თავის სითბოს კაზმის ქვედა ფენებს გადასცემს და 60-150°C ტემპერატურაზე გახურებული ტოვებს სამუშაო სივრცეს.

სათბობის წვის რეაქციას შემდეგი სახე აქვს:



აგლომერაცია ძალზედ ეფექტურია კაზმში კარბონატული მდგენელების გამოყენების შემთხვევაში, რადგანაც დანატროვნებასთან ერთად მათი დისოციაციაც ხდება.

თანამედროვე საავლომერაციო მანქანამ დღე-ღამეში შეიძლება აწარმოოს 1500-10000ტ ავლომერატი.

დაბუნდაება. ღრმა გამდიდრების ტექნოლოგია მადნების დაფქვას ითვალისწინებს, რის შედეგადაც მიიღება წვრილდისპერსული მასალა (1-0 მმ), რომლის დანაჭროვნებასაც დაგუნდაებით ახდენენ.

გუნდების წარმოების პროცესი ორი სტადიისგან შედგება: ჯერ ღებულობენ ნედლ გუნდებს, რომელთაც გამტკიცების მიზნით ჯერ 300-600°C ტემპერატურაზე გამოაშრობენ, შემდეგ კი 1200-1350°C-ზე გამოწვავენ. უკეთ დაგუნდაების მიზნით დასაგუნდაებელ მასალას 0,3-1,5% შემკვრელსა (წვრილდისპერსული თიხა) და 8-10% წყალს უმატებენ.

გრანულატორის წრიული მოძრაობის შედეგად წყალთან და შემკვრელთან არეული მასალა თანდათანობით იკვრება გუნდებად და 10-20 მმ დიამეტრის მიღწევის შემდეგ მიეწოდება კონვეიერული ტიპის გამოსაწვავ მანქანას (აღრე გამოწვავს შახტურ და მბრუნავ ღუმელებში ახდენენ), სადაც სველი გუნდები გადის გამოშრობის, გახურებისა და გამოწვის სტადიას.

გამოშრობის ზონაში ტემპერატურა 250-400°C-ს შეადგენს (გამოწვის ზონიდან წარმოქმნილი აირების ხარჯზე), გამოწვის ზონაში კი 1200-1350°C-ს აღწევს (აირადი ან თხევადი სათბობის წვის შედეგად). გუნდების გაციებას ჰაერის შებერვით ახდენენ (ცეცხლრიკების ცხაურის მეშვეობით). მიღებული გუნდები, რომელთა დიამეტრის ზომა 10 მმ-ს აღემატება (გაცხრილვის შემდეგ) მიეწოდება მომხმარებელს, ხოლო 10-0 მმ

დიამეტრის მქონე კი თავიდან გადის დაგუნდავების ციკლს.

აგლომერაციისაგან განსხვავებით დაგუნდავების პროცესი შეცხოობამდე არ უნდა მივიდეს, თუ არ იქნება შენარჩუნებული გამოწვის ტემპერატურის ზედა ზღვარი ($1320-1350^{\circ}\text{C}$) გუნდები გადნება და ერთმანეთს შეედუღება. ამასთან, არასაკმარის ტემპერატურულ ინტერვალში გამოწვაც ($1200-1250^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბლა) დაუშვებელია, რადგანაც საგრძნობლად მცირდება გუნდების სიმტკიცე.

სასურველი სიმტკიცისაა გუნდა, როდესაც იგი ცივ მდგომარეობაში $1,5-2,5$ კნ/გუნდაზე დაწნეხვას უძლებს.

კონვეირული ტიპის მანქანით შესაძლებელია დღე-ღამეში $2500-9000$ ტ გუნდა იქნეს მიღებული.

დაგუნდავება დანაჭროვნების ეფექტური მეთოდია, რადგანაც ფეროშრნადნობების გამოდნობის პრაქტიკამ აჩვენა, რომ კაზში გუნდების არსებობა აუმჯობესებს აირგანვლადობას და მადნების ღრმა გამდიდრების ფართო გამოყენების საშუალებას იძლევა.

ღაბრიკეტება. ამ მეთოდისადმი ინტერესი ღაბრიკეტების ეფექტურობაში მდგომარეობს. კერძოდ, აგლომერაციისაგან განსხვავებით ღაბრიკეტებისას არ ხდება კაზმის მდგენელების განშრევება და ბრიკეტის ნებისმიერი მოცულობა პროცესისათვის საჭირო ყველა კომპონენტს შეიცავს. ბრიკეტები კარგი აირგანვლადობითა და მაღალი კუთრი წინაღობით გამოირჩევა, რაც ელექტროდების ღრმად ჩაჯღომას განაპირობებს.

ბრიკეტების დამზადებას სპეციალურ საბრიკეტე დანადგარზე ახდენენ. შემკვრელად გამოიყენება ცველულოხას წარმოების ნარჩენი, ე.წ. სულფიტ-სპირტული ბარდა, თხევადი მინა, ან სულფიტ-სპირტული ბარდისა და ბიტუმის ნარევი.

დასაბრიკეტებელი მასალა ამრევის გავლის შემდეგ (ამრევაში მიეწოდება შემკვრელი), მიეწოდება დასაბრიკეტებელ წნეხს, რომელიც ორი ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მოძრავი ლილვისგან შედგება. მიღებულ ბრიკეტებს ოვალური ფორმა აქვს და საკმარისი სიმტკიცით გამოირჩევა. ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში არსებული ბრიკეტ დანადგარი საკმაო სიმძლავრისაა და მისი წლიური წარმადობა 300000ტ ბრიკეტს შეადგენს. სპეციალური გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სილიკომანგანუმის გამოდნობისას მანგანუმის ამოკრეფა ბრიკეტებით დნობისას 10%-ით უფრო მაღალია აგლომერატით დნობასთან შედარებით, ხოლო ელ.ენერგიის ხარჯი 400 კვტ.სთ-ით შემცირებული, რაც ბრიკეტის გამოყენების ეფექტიანობაზე მიუთითებს.

3. ნახშირბადალმღებენელის თავისებურებანი

ნახშირბადი, როგორც აღმდგენელი მთელი რიგი თავისებურებებით გამოირჩევა, კერძოდ:

➤ ნახშირბადით ოქსიდის აღდგენის პროდუქტი ყოველთვის არის აირადი ნივთიერება $\text{MeO} + \text{C} = \text{Me} + \text{CO} \uparrow$, რომელიც ტოვებს რა სარეაქციო ზონას, მუდმივად არღვევს წონასწორობას, რის გამოც წამყვანი ელემენტის ამოკრეფა თითქმის მაქსიმუმს აღწევს (95-98%) (პირდაპირი რეაქციის განვითარების გამო).

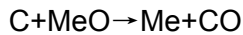
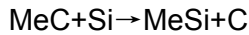
➤ ტემპერატურის მომატებით ნახშირბადის ჟანგბადთან სწრაფვა იზრდება, რაც ძნელად აღსადგენი ოქსიდების აღდგენას უზრუნველყოფს.

➤ ნახშირბადით ოქსიდების აღდგენისას ხდება კარბიდების წარმოქმნა (SiC , Mn_7C_3 , Fe_3C და სხვა), რის გამოც შენადნობები დიდი რაოდენობით შეიცავს ნახშირბადს. ამიტომაც უნახშირბადო და დაბალნახშირბადიანი შენადნობების მისაღებად ნახშირბადის აღმდგენელად გამოყენება დაუშვებელია.

➤ ნახშირბადით ოქსიდების აღდგენის პროცესი ენდოთერმულია, რის გამოც ფეროშენადნობების მიღება ელექტროენერჯის მნიშვნელოვან ხარჯთანაა დაკავშირებული.

➤ აღმდგენელთა შორის ნახშირბადი ყველაზე იაფი აღმდგენელია.

ნახშირბადის აღმდგენელად გამოყენება ყოველთვისაა შესაძლებელი, როცა შენადნში ნახშირბადის ან სილიციუმის მაღალი შემცველობაა დასაშვები. უკანასკნელ შემთხვევაში სილიციუმის მიერ კარბიდების დაშლის შემდეგ გამონთავისუფლებული ნახშირბადი ოქსიდის აღდგენაზე იხარჯება:



ზოგიერთი ნახშირბადშემცველი აღმდგენელის დახასიათება მოცემულია ცხრილში:

მაჩვენებელი	მეტალურგიული კოქსი	კოქსწვრილა	ნახევრად კოქსი	ნავთობის კოქსი	ხის ნახშირი
ნაცარი, A	10,65	10,80	27,0	0,71	1,45
აქროლადი, V	1,44	1,20	5,60	8,08	14,54
სინესტე, 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
ხვ.ელ.წინაღობა. 10^{-2} ომი.მ	0,0121	0,0148	75,0	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
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

ფეროშენადნობების წარმოების მანძილზე ნახშირბადაღმდგენელის მრავალი სახეობა იქნა გამოყენებული: კოქსწვრილა, დაყალიბებული კოქსი, ნახევრადკოქსი, ხის ნახშირი, ანტრაციტი, ქვანახშირი, ნავთობის კოქსი, ტორფის კოქსი, ნახერხი და სხვა. დავახასიათოდ ზოგიერთი მათგანი:

კოქსწვრილა ქვანახშირიდან მეტალურგიული კოქსის წარმოების პროცესში მიიღება, როგორც თანამდგვი პროდუქტი. იგი ყველაზე იაფი აღმდგენელია და გამოიყენება ყველა პროცესში, სადაც მაღალნაცრიანი

აღმდგენელის გამოყენება შეზღუდული არ არის (ნაცრიანობა 10-12% აქვს). მის მახასიათებლებს უშუალოდ განსაზღვრავს ქვანახშირის ხარისხი და დაკოქსების რეჟიმი. წვრილფრაქციულობის გამო (-5 მმ) გამოყენების წინ საჭირო ხდება მისი გაცხრილვა.

ნახმპრაღკოქსი მიიღება არაკოქსვადი გრძელაღიანი ნახშირებიდან. იგი კოქსწვრილაზე უკეთესი აღმდგენელია. დაბალ ტემპერატურაზე მისი ელ.წინაღობა თითქმის ორჯერ აღემატება სხვა კოქსის ანალოგიურ მაჩვენებელს, თუმცა გახურების შემდეგ ნახევრადკოქსის ელ.წინაღობა ეცემა და კოქსწვრილას წინაღობას უტოლდება. კოქსწვრილასთან შედარებით იგი მაღალი ქიმიური აქტიურობით გამოირჩევა.

დაყალიბებული კოქსი წარმოადგენს წინასწარ ფორმამციმულ კოქს. იგი სხვა კოქსისა და კოქსწვრილასგან განსხვავებით მცირე რაოდენობით შეიცავს წვრილ ფრაქციას და მაღალი ელექტროწინაღობით გამოირჩევა.

ტორფის კოქსი ტორფის 400-600°C ტემპერატურამდე გახურებით მიიღება. იგი როგორც კარგი აღმდგენელი მაღალი ხვედრითი ელ.წინაღობითა და ქიმიური აქტიურობით გამოირჩევა. მიუხედავად ამისა, ფეროშენადნობთა წარმოებაში მისი მასიური გამოყენება ჯერ არ დაუწყიათ.

ანტრაციტი მკვრივი დაბალნაცრიანი ნახშირბადშემცველი მასალაა. მაღალ ტემპერატურაზე იმსხვრევა. აქვს დაბალი ელექტროწინაღობა და ქიმიური

აქტიურობა. ფეროშენადნობთა წარმოებაში მას სხვა აღმდგენელთან ერთად იყენებენ.

ქვანახშირს მართალია სხვა აღმდგენელებთან შედარებით მაღალი ელ.წინაღობა ახასიათებს, მაგრამ აქროლადებისა და ფისისებრი ნივთიერების მაღალი შემცველობის გამო ფეროშენადნობთა წარმოებაში მასიური გამოყენება ვერ ჰპოვა.

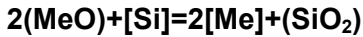
ხის ნახშირი ყველაზე უკეთესი აღმდგენელია. მას აქვს მაღალი ელწინაღობა, ფორიანობა და ქიმიური აქტიურობა. იგი მცირე რაოდენობით შეიცავს ნაცარს. სიძვირის გამო ხის ნახშირს ფეროშენადნობთა წარმოებაში იშვიათად იყენებენ (კრისტალური სილიციუმი, სილიკოკალციუმის და 90% ფეროსილიციუმის მისაღებად).

ნავთობის კოქსი ნავთობის გამოხდის შედეგად დარჩენილი ნარჩენების დაკოქსვით მიიღება. იგი მცირე რაოდენობით შეიცავს ნაცარს და აქროლადებს. მაღალი ფორიანობითა და ქიმიური აქტიურობით გამოირჩევა, თუმცა სიძვირის გამო მხოლოდ მინარევებისაგან სუფთა შენადნობების მისაღებად სხვა აღმდგენელებთან ერთად გამოიყენება (კრისტალური სილიციუმის მისაღებად და სხვა)

ხის ნახმრს ზოგიერთ ფეროშენადნობთა ქარხანაში ღუმელის ელწინაღობისა და აირგანვლადობის გაზრდის მიზნით იყენებენ, თუმცა ამ მასალის გამოყენება წარმოებაში მეორეხარისხოვან ხასიათს ატარებს.

4. ოქსიდების ადღებენა სილიციუმით

სილიციუმით ოქსიდების ადღებენა შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



წონასწორობის მუდმივა

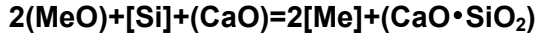
$$K = \frac{(\text{SiO}_2) \cdot [\text{Me}]^2}{(\text{MeO})^2 \cdot [\text{Si}]}$$

ჩარევის გარეშე აღნიშნული რეაქცია სწრაფად აღწევს წონასწორობას, რის გამოც სასურველი ელემენტის ამოკრეფა ძალიან მცირეა. მართლაც მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის უფლუსო მეთოდით გამოდნობისას ქრომის ამოკრეფა კაზმიდან მხოლოდ 55-60%-ს შეადგენს, ხოლო წიდაში Cr_2O_3 -ს რაოდენობა კი 35%-ს აღწევს. წონასწორობის გამოსახულებიდან

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

ე.ი. ლითონის გამოსავლის გასაზრდელად SiO_2 -ის აქტიურობის შემცირებაა აუცილებელი, რასაც კაზმში

კირის (CaO) დამატებით ახდენენ. ჯამურ რეაქციას შემდეგი სახე აქვს:



წიდაში CaO –ს არსებობა წამყვანი ელემენტის ამოკრევის გაზრდას უზრუნველყოფს. მართლაც უნახშირბადო ფეროქრომის ფლუსიანი მეთოდით გამდიდრებისას, კაზმიდან ქრომის ამოკრევა 83-85%-ს შეადგენს.

სილიციუმი, როგორც აღმდგენელი უმეტეს წილად შენადნობების სახით გამოიყენება (სილიკომანგანუმი, სილიკოქრომი, ფეროსილიციუმი).

სუფთა ფაზებში სილიკოთერმული პროცესი ეგზოთერმულია, თუმცა რეალურ პირობებში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის უკმარისობის გამო ელექტროლუმელებში გამოდნობა ელ.ენერგიის დამატებით ხარჯს საჭიროებს.

4.1 სილიციუმით ალდენის თავისებურებანი

სილიციუმით ოქსიდების ალდენას შემდეგი თავისებურებები ახასიათებს:

➤ უანგბადისაკენ მაღალი სწრაფვის გამო, სილიციუმი სხვადასხვა ოქსიდების ალდენის შესაძლებლობას იძლევა (MnO, Cr₂O₃, MoO₃ და სხვა),

თუმცა ტემპერატურის მომატებით სილიციუმისა და ჟანგბადის ურთიერთსწრაფვა კლებულობს;

➤ შესაძლებელია უნახშირბადო ფეროშენადნობების მიღება;

➤ სილიკოთერმულ პროცესს თან ახლავს სილიციდების წარმოქმნა, რაც ზოგ შემთხვევაში არასასურველია ლითონში სილიციუმის მაღალი შემცველობის გამო;

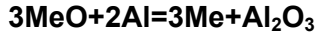
➤ ფლუის გამოყენების აუცილებლობა წილის ფუძიანობისა და საკაზმე მასალების ხარჯის გაზრდის მიზეზი ხდება;

➤ სილიკოთერმული პროცესი საკმაოდ რაოდენობის ელექტროენერგიის ხარჯს მოითხოვს;

➤ სილიციუმი ძვირად ღირებული აღმდგენელია, რადგანაც მისი შენადნობების მიღება სხვა ელემენტებთან ცალკე ღუმელში გამოდნობას, დამატებით ელ.ენერგიასა და მასალების ხარჯს მოითხოვს.

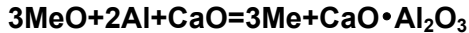
5. ოქსიდების ალუმინით აღღვენა

ოქსიდების აღღვენას ალუმინოთერმული პროცესით შემდეგი სახე აქვს:



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

სილიკოთერმული პროცესის მსგავსად, ლითონის მაქსიმალური ამოკრეფისთვის საჭირო ხდება მიღებული პროდუქტის (ამ შემთხვევაში Al_2O_3 -ს) აქტიურობის შემცირება, რასაც კირის გამოყენებით ახდენენ. ფლუსის გამოყენებისას ალუმინოთერმული რეაქცია შემდეგ სახეს მიიღებს:



როგორც წესი ალუმინოთერმულ პროცესს კერებში ატარებენ. გამოყენებული ალუმინი თხევადი ალუმინის განქრევითაა მიღებული (შეკუმშული ჰაერით ან ორთქლით) და მისი მარცვლების ზომა 3-0 მმ-ს შეადგენს.

5.1 ალუმინით აღღვენის თავისებურება

ალუმინი, როგორც აღმდგენელი შემდეგი თავისებურებებით გამოირჩევა:

➤ მეტალურგიულ ტემპერატურებზე მას ჟანგბადთან უფრო მეტი სწრაფვა ახასიათებს, ვიდრე სილიციუმსა და ნახშირბადს;

➤ ჟანგბადთან დიდი მიდრეკილების გამო, იგი ძნელად აღსადგენი ოქსიდების აღდგენის საშუალებას იძლევა;

➤ იმის გათვალისწინებით, რომ აღდგენის ერთ-ერთი პროდუქტი Al_2O_3 წიდაში რჩება და მისი აქტიურობის შესამცირებლად ფლუსს იყენებენ, იზრდება წილის ჯერადობა.

➤ ალუმინი ყველაზე ძვირად ღირებული აღმდგენელია. 1 კგ მთლიანი ჟანგბადის შესაერთებლად საჭიროა 24 კგ ნახშირბადი, 28 კგ სილიციუმი და 36 კგ ალუმინი. გარდა ამისა 1 კგ მთლიანი ჟანგბადის შესაკავშირებლად საჭირო ალუმინის რაოდენობა ღირებულების თვალსაზრისითაც 19-ჯერ და 2,4-ჯერ უფრო ძვირია ნახშირბადისა და სილიციუმის საჭირო რაოდენობის ღირებულებასთან შედარებით; ამიტომაც ალუმინს მხოლოდ ძნელსდაღსადგენი ოქსიდების აღსადგენად და უნახშირბადო შენადნობების მისაღებად იყენებენ.

6. ფლუსი

ფეროშენადნობთა კაზმში შემაავალი არასასურველი ოქსიდებისა და რეაქციის პროდუქტების წილაში გადასაყვანად, ასევე წილის სიბლანტის შემცირებისა და თხიერდენადობის გაზრდის მიზნით, საჭირო ხდება ფლუსის გამოყენება. ფლუსი შეიძლება იყოს ფუძე, მჟავა და თიხამიწიანი. ფეროშენადნობთა წარმოებაში ისეთი შენადნობების მისაღებად, როგორცაა ლითონური მანგანუმი, საშუალო-ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი, მცირე-ნახშირბადიანი ფეროქრომი, ნახშირბადიანი ფეროქრომი, სილიკომანგანუმი და ა.შ., უმეტეს წილად ფუძე ფლუსს იყენებენ (კირი, კირქვა, დოლომიტი), ხოლო გადასამუშავებელი დაბალფოსფორიანი წილების გამოსადნობად კი მჟავე ფლუსს (კაჟმიწაშემცველ).

საკაზმე მასალებში შემაავალი ოქსიდების დნობის ტემპერატურა (SiO_2 -1728 $^{\circ}\text{C}$, Al_2O_3 -2040 $^{\circ}\text{C}$, CaO -2570 $^{\circ}\text{C}$, MgO -2800 $^{\circ}\text{C}$) გაცილებით მაღალია ფეროშენადნობთა დნობის ტემპერატურაზე, მიუხედავად ამისა, ამ ოქსიდების განსაზღვრული რაოდენობით შერევისას, წარმოიქმნება ადვილდნადი (1300 $^{\circ}\text{C}$ დაბლა) და თხიერდენადი ნაერთები, რომლებიც გარკვეულწილად ხელს უწყობს ღუმელში მიმდინარე პროცესებს.

7. შეროშენადნობების ბამოსადნობი ელექტროღუმელების დახასიათება

პროცესები, სადაც ელექტროენერგია თბურ ენერგიად გარდაიქმნება ელექტროთერმულს უწოდებენ. ელექტროთერმული პროცესები შეიძლება განხორციელდეს ელექტროღუმელებსა და სხვა სახის მასურებელ აგრეგატებში, კერძოდ რკალურ, ინდუქციურ, ელექტროწინაღობისა და დიელექტრიკული ტიპის ღუმელებში. ამჟამად წარმატებით გამოიყენება ვაკუმურ-რკალური, ელექტრონული, პლაზმური, ლაზერული, ელექტროწიღური და ვაკუმურ-რკალური გადადნობებიც.

7.1 ელექტრომეტალურბიული ღუმელების კლასიფიკაცია

ლითონების გამოსადნობად განკუთვნილი ელექტროღუმელები შემდეგ ჯგუფებად შეიძლება დაიყოს:

➤ რკალური ღუმელები, სადაც ელ.ენერგია თბურ ენერგიად რკალის მეშვეობით გარდაიქმნება.

➤ წინაღობის ღუმელები, სადაც ელ.ენერგიის თბურ ენერგიად გარდაქმნა ხდება კაზმში ან გამტარში დენის გატარებით (წინაღობის ღუმელის ტიპიური მაგალითია ლითონური ელექტროდების მქონე ელექტროწიღური გადადნობის ღუმელი, სადაც ელ.წინაღობის როლს ასრულებს გამდნარი წიღის აბაზანა).

➤ კომბინირებული ღუმელები, სადაც სითბო გამოიყოფა რკალითა და კაზმში დენის გატარებით.

➤ ინდუქციური ღუმელები, სადაც ლითონური კაზმის გახურება ხდება ელექტრომაგნიტური ინდუქციური დენით.

➤ ელექტრონულ-სხივური ღუმელი, სადაც ლითონის გახურება და დნობა ხდება მაღალი სიხშირის ელექტრონული კონით.

➤ პლაზმური ღუმელები, სადაც ლითონის გახურება და დნობა ხდება პლაზმური სხივის საშუალებით.

გახურების მეთოდის მიხედვით რკალური ღუმელი სამი ტიპის შეიძლება იყოს:

1. პირდაპირ გახურების, როდესაც ღუმელში ჩატვირთული მასალების გახურება ხდება თითოეულ ელექტროდსა და ლითონს შორის ანთებული რკალით. ასეთი ტიპის ღუმელები განკუთვნილია ფოლადისა და სხვადასხვა შენადნობების გამოსადნობად.

2. არაპირდაპირი გახურების, როდესაც ღუმელში ჩატვირთული მასალა ხურდება ლითონისა და წილის თავზე ელექტროდებს შორის ანთებული რკალის გამოსხივებით. ასეთი ტიპის ღუმელებს იყენებენ შედარებით დაბალი დნობის ტემპერატურის მქონე ლითონების გამოსადნობად (ფერადი ლითონი, ჭედადი თუჯი და სხვა).

3. კომბინირებული გახურების დახურული რკალით. ამ შემთხვევაში ღუმელში ჩატვირთული კაზმის გახურება ხდება ელექტროდებსა და კაზმის ფენის ქვეშ წარმოქმნილი რკალით და კაზმში გამავალი დენით.

ასეთი ტიპის ღუმელები ფართოდ გამოიყენება მადანთერმული პროცესისათვის, კერძოდ კი ფეროშენადნობების წარმოებაში, სადაც ელემენტების აღსადგენად მაღალი ტემპერატურაა საჭირო.

7.2 ფეროშენადნობების ღუმელების კონსტრუქცია

დანიშნულების მიხედვით ფეროშენადნობების ღუმელები შეიძლება იყოს აღდგენითი და სარაფინაციო. აღმდგენით ღუმელებში კაზში აღმდგენელად გამოიყენება ნახშირბადი. როგორც წესი გამოდნობის პროცესი არის უწყვეტი, ხოლო შენადნისა და წილის გამოშვების კი პერიოდული (ფეროსილიციუმი, სილიკოკალციუმი, კალციუმის კარბიდი, ნახშირბადიანი ფეროქრომი, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი, სილიკოქრომი, სილიკომანგანუმი). აღდგენითი ღუმელების ტრანსფორმატორის სიმძლავრე 7–75 მგტ-ს შეადგენს.

სარაფინაციო ღუმელებში აღმდგენელად გამოიყენებულა სილიციუმის ან ალუმინის შემცველი შენადნობები. კაზმის მთლიანი გადნობისა და რაფინაციის დამთავრების შემდეგ ღუმელიდან პერიოდულად ახდენენ ლითონისა და წილის გამოშვებას (მცირე და საშ.ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი და ფეროქრომი, ფეროვოლფრამი, ფეროვანადიუმი და სხვა). როგორც წესი სარაფინაციო ღუმელებში სილიციუმისა და ალუმინის დაქანგვით დამატებითი სითბო გამოიყოფა.

სარაფინაციო ღუმელის ტრანსფორმატორის სიმძლავრე 3–6 მვტ-ს შეადგენს.

ფეროშენადნობების ღუმელები კონსტრუქციის მიხედვით შეიძლება იყოს: ღია, დახურული, უძრავი, დასახრელი (ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ) და მბრუნავი (ვერტიკალური ღერძის გარშემო).

ფეროშენადნობების ღუმელების კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტებია: გარცმი, თალი, ელექტროდის დამჭერი, გადამტანი ცილინდრი, ელექტროდის გადაასადგილებელი მექანიზმი, ელექტროდების გადაშვების სამუხრუჭე მოწყობილობა, წყლის გამაციებელი სისტემა, ჩამტვირთავი მოწყობილობა, გამწოვი და შემბერი ვინტილაცია, ღარის მომსახურე მოწყობილობა, აბაზანის მბრუნებელი მოწყობილობა.

7.3 ფეროშენადნობების ღუმელების ამონაბი

ღუმელის ამონაბის ნაირსახეობა გამოსადნობი შენადნობის ტიპზეა დამოკიდებული. ფეროშენადნობების ღუმელების შახტის ზედა სარტყელი უმეტეს წილად ამოგებულია შამოტის აგურით. კედლების ქვედა ნაწილი და ქვედი იმ ღუმელებისათვის, რომლებიც განკუთვნილია მცირენახშირბადიანი ფერომანგანუმის და ფეროქრომის გამოსადნობად, ამოგებულია მაგნეზიტის აგურით, ხოლო სილიციუმისანი შენადნობების (ფეროსილიციუმი, სილიკოქრომი, სილიკომანგანუმი) გამოსადნობი ღუმელებისათვის კი ნახშირის ბლოკებით.

ახლად ამოგებული ღუმელი ექსპლუატაციაში გაშვებამდე საჭიროებს გამოშრობას, რაზეც მიახლოებით 15 მგტ.სთ ელექტროენერგია იხარჯება. მძლავრი მადანაღმდგენითი ღუმელებისათვის გახურების ხანგრძლივობა 20-30 დღეს შეადგენს, ხოლო სარაფინაციო ღუმელებისათვის 10-15 დღეს. 23 მგა სიმძლავრის დახურული ღუმელის ახლად ამოგებულ ამონაგს 5-7 დღის განმავლობაში ჯერ აირით აშრობენ, შემდეგ ღია მდგომარეობაში დენის საშუალებით (3 დღის განმავლობაში სიმძლავრის თანდათანობით მატებით) და მხოლოდ ამის შემდეგ ღუმელი გადაჰყავთ მუშაობის დახურულ რეჟიმზე.

7.4 ელექტროლი

ელექტროდების დანიშნულებაა ელექტროენერგია მიაწოდოს ღუმელის სამუშაო სივრცეს. ნორმალური მუშაობისათვის ელექტროდებს უნდა გააჩნდეთ საკმარისი მექანიკური სიმტკიცე და ელგამტარობა, ხასიათდებოდეს თერმული მდგრადობით და მაღალ ტემპერატურაზე დაჟანგვის წინააღმდეგობის გაწევის უნარით. ამ თვისებებით გამოირჩევა ნახშირბადშემცველი მასალით დამზადებული ელექტროდები.

ელექტრო ღუმელებში იყენებენ გრაფიტის, ნახშირისა და თვითცხოზად ელექტროდებს (ცხრ.1) გრაფიტის ელექტროდები, როგორც წესი ფოლადისა და სხვადასხვა მარკის შენადნობების მისაღებად გამოიყენება. დიამეტრი ამ ელექტროდებისა 75-555 მმ ფარგლებში მერყეობს

(ГОСТ 4426-80), თუმცა სასურველი დენის სიმკვრივის უზრუნველსაყოფად, მაღალი სიმძლავრის რკალურ ღუმელებში ზოგჯერ 610-710 მმ დიამეტრის მქონე გრაფიტის ელექტროდებსაც იყენებენ.

ცხრილი 1

ელექტროდების ძირითადი ფიზიკური თვისებები

განზომილება	ელექტროდი		
	გრაფიტის	ნახშირის	თვითფხობადი
ჭეშმარიტი სიმკვრივე, გ/სმ ³	2,2 – 2,23	1,9 – 2,05	1,8 – 1,9
მონვენებითი სიმკვრივე, გ/სმ ³	1,55 – 1,70	1,5 – 1,6	1,5 – 1,6
ფორიანობა, %	23 – 30	18 – 25	20 – 30
მექანიკური სიმტკიცე, X10 ⁵ პა:			
კუმშვაზე	200 – 400	150 – 300	80 – 300
გაჭიმვაზე	70 – 200	30 – 70	20 – 40
ღუნვაზე	60 – 200	20 – 50	30
			(გამომწვარი)
კუთრი ელ. წინაღობა, X10 ⁻⁶ ომი.მ	8 – 14	20 – 30	60 – 85
დასაშვები სიმკვრივე, ა/სმ ²	12 – 30	5 – 11	5 – 7,0
დაუანგზის ტემპერატურა, °C	600 – 700	460 – 500	400 – 500

ნახშირის ელექტროდებს უმეტეს წილად ნახშირბადიანი ფოლადებისა და კრისტალური სილიციუმის გამოსადნობ მცირე და საშუალო ტევადობის მქონე რკალურ ღუმელებში იყენებენ.

ფეროშენადნობების წარმოებაში ძირითადად სხვადასხვა დიამეტრისა და განზომილების მქონე თვითცხოვადი ელექტროდებია გამოყენებული, რომლებიც საგრძნობლად იაფია გრაფიტისა და ნახშირის ელექტროდებთან შედარებით. თვითცხოვადი ელექტროდები შედგება ლითონის ცილინდრული გარცმისა და ელექტროდების დატკეპნილი მასისაგან. გარცმი მზადდება 0,6-3,0 მმ სისქის რკინის ფურცლისაგან და იგი 1,2-1,8 მ სიგრძის ცალკეული სექციისგან შედგება. სექციები ერთმანეთთანაა შედუღებული.

გარცმი, გარდა იმისა რომ დენისა და სითბოს გამტარობას უწყობს ხელს, ელექტროდებს დაჟანგვისგანაც იცავს.

ელექტროდების მასას, როგორც წესი დებულობენ დამსხვრეული ანტრაციტის, საჩამოსხმო კოქსისა და შემკერელისაგან (ქვანახშირის სქელფისი და ფისი). თვითცხოვადი ელექტროდების მისაღები კაზმის მიახლოებითი შედგენილობა არის შემდეგი:

კაზმის კომპონენტები	მარცვლის მმ სიმახსო,	კომპონენტების შედგენილობა, %		
		ელექტროდების დიამეტრი, მმ		
		≤ 500	≤ 750	>1100 <1100
თერმონანტრაციტი	10-60	–	–	35
ან ანტრაციტი	3,5-8	30	–	–
	0-10	–	60	30
საჩამომსხო კოქსი	0,5-3	29	20	–
	0-10	–	–	16
სქელფისი*	–	21	20	19

*გარბილების ტემპერატურა 38-40⁰C

კაზმი არევის შემდეგ (არევა ხდება ამრევში) მიეწოდება სპეციალურ მოედანს, საიდანაც ჩაიტვირთება ელექტროდების გარცმში. გახურებული მასა რბილდება და დატკეპნის გარეშეც მჭიდროდ ავსებს თვითცხოვადი ელექტროდის გარცმს. საკონტაქტო ყბების ქვეშ მოხვედრილი ელექტროდის მასა 400⁰C–ს ტემპერატურაზეა გახურებული. ელექტროდის დამჭერის უბანზე მასის ტემპერატურა 850⁰C–მდე იზრდება და ყბების ქვეშ გამომწვარი ელექტროდი გამოდის. როდესაც დაწვის შედეგად ელექტროდი დაბლა იწევს, ლითონის გარცმზე აღუდებენ გარცმის ახალ სექციას და ავსებენ

ელექტროდის მასით. ელექტროდის გამოწვის რეჟიმმა საკონტაქტო ყბების ქვეშ სრულად უნდა უზრუნველყოს ელექტროდის მასის შეცხობა.

თვითცხობადი ელექტროდების ნორმალურ მუშაობას უზრუნველყოფს:

- ელექტროდის მასის რაციონალური შერჩევა;
- სწორი თანაფარდობა ძირითად და შემკვრელ ნივთიერებებს შორის;
- ელექტროდების ოპტიმალური სიჩქარით ჩაშვება;
- ელექტროდების ოპტიმალური ხვედრითი ხარჯი (კგ/1000 კვტ. სთ დახარჯულ ენერგიაზე);

➤ ნორმალური ტექნოლოგიური პროცესი, რაც უფრო დიდია ელექტროდების ხვედრითი ხარჯი, მით უფრო სწრაფად ტოვებს ელექტროდის მასა შეცხობის ზონას. დროის ამ მონაკვეთის საგრძნობი შემცირებით ელექტროდი ვერ ასწრებს ნორმალურ მდგომარეობამდე შეცხობას. ელექტროდების ხვედრითი ხარჯის შემცირებით ელექტროდების მასას დიდხანს მოუწევს ზონაში ყოფნა. მეტისმეტმა დაყოვნებამ შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს ელექტროდების დამჭერის სიმტკიცეზე.

ელექტროდების ჩაშვების სიჩქარეს განსაზღვრავენ ელექტროდის დიამეტრიდან გამომდინარე. სილიციუმისანი შენადნობების წარმოებისას ელექტროდის გადაშვებას ცვლაში 1-3 ჯერ ახდენენ, სხვა შენადნობების შემთხვევაში კი დღე-ღამეში ერთხელ. ელექტროდის გადაშვების სიმაღლე 150-250 მმ-ს შეადგენს.

7.5 ფეროშენადნობების ღუმელის ელექტრომოწყობილობა და სამუშაო სივრცის ზომები

ფეროშენადნობების გამოსადნობ ღუმელს მისთვის დამახასიათებელი სპეციალური ოპტიმალური ელექტრული რეჟიმი გააჩნია. კერძოდ, სიმძლავრის, დენის ძალისა და ძაბვის სწორი შერჩევით შესაძლებელია ელექტროენერჯის ნორმალური დანახარჯებით მიღწეულ იქნეს სადნობი აგრეგატის მაქსიმალური წარმადობა.

ფეროშენადნობების ღუმელში დენის განაწილებას მასში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესი განსაზღვრავს. უწილო გამოდნობისას ხდება აირადი სარტყლის წარმოქმნა, რომელიც გავარვარებული კაზმის კედლებშია მოქცეული. სარტყელს ძირში თხევადი ლითონი აქვს, ხოლო თავზე ელექტროდი. ამიტომ, აირის სარტყელში დენის მიერ გამოყოფილი სიმძლავრე, ღუმელის სასარგებლო სიმძლავრის ძირითადი შემადგენელი ნაწილია. თბური დანაკარგების შემცირების მიზნით დაუშვებელია კაზმის გახურება სარეაქციო ზონის მიღმა, ამიტომაც აუცილებელია გამოდნობის პროცესში ღუმელის საკერძე იყოს ცივი.

უწილო პროცესისთვის შედარებით მცირე ძაბვაა საჭირო, ვიდრე წილის ზედაპირზე ანთებული რკალის შემთხვევაში.

სასარგებლო ფაზური ძაბვა (U_{ს.ფ.ვ}) შემდეგი გამოსახულებიდან იანგარიშება

$$U_{\text{ს.ფ.}} = C \cdot P^n$$

სადაც $P_{\text{ს.}}$ – სასარგებლო სიმძლავრეა, კვტ

C – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც ფეროსილიციუმისათვის 3,4-ის ტოლია (როცა $n=0,33$), სილიკომანგანუმისათვის უდრის 6-ს, ნახშირბადიანი ფეროქრომისათვის 8-ს, ნახშირბადიანი ფერომანგანუმისათვის 5,5 და სილიკოკალციუმისათვის კი 6-ს (როცა $n=0,25$).

ელექტროპარამეტრები შემდეგნაირად შეიძლება განისაზღვროს

$$U_{\text{ტრან}} = \frac{U_{\text{ს.ფ.}} \cdot \sqrt{3}}{\cos\phi \cdot \xi_{\text{ელ}}} ; \quad J = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ტრან.}}}$$

სადაც P – ღუმელის ნორმალური სიმძლავრეა, კვა;

J – დენის ძალა, ა;

$U_{\text{ტრან}}$ – ძაბვა ტრანსფორმატორის

გამომყვანებზე, ვ;

$\xi_{\text{ელ}}$ – ღუმელის მოწყობილობის მ.კ.კ.

$\cos\phi$ – ღუმელის მოწყობილობის სიმძლავრის კოეფიციენტი.

ღუმელში სხვადასხვა თბური რეჟიმის მისაღწევად, იყენებენ მრავალსაფეხურიან ძაბვის ტრანსფორმატორს.

ელექტრული მ.კ.კ.
$$\xi_{ელ} = \frac{P_{სახ.}}{P_{აქტ.}},$$

ხოლო ენერგეტიკული მ.კ.კ.

$$\xi_{ენ} = \xi_{ელ} \cdot \xi_{თბ.} \text{ სადაც } \xi_{თბ.} - \text{ ღუმელის თბური მ.კ.კ.-ა;}$$

$\xi_{ელ}$ - ღუმელის ელექტრული მ.კ.კ.

ფეროშენადნობების ღუმელის კონსტრუქციის ოპტიმალიზაცია და ტექნოლოგიის სრულყოფის დონეს ძირითადად განსაზღვრავს ერთ ტონა ლითონის მისაღებად დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობა:

$$W = \frac{Q}{\xi},$$

სადაც Q - ელენერგიის დახარჯული რა-ბაა დროის გარკვეულ პერიოდში, კჯ (ან კვტ.სთ)

ξ - დროის ამ პერიოდში გამოდნობილი ლითონის რაოდენობა. ტ.

7.6 ძალოვანი ტრანსფორმატორი

რკალური ფეროშენადნობების გამოსადნობი ლუმელის ძირითადი დანადგარია ტრანსფორმატორი, რომელიც მკვებავი დენის ძაბვას ათეული ათასი ვოლტიდან 90-370 ვ-მდე ამცირებს.

ძალოვანი ტრანსფორმატორი, როგორც წესი, შედგება გულანას გარშემო განლაგებული რამდენიმე გრაგნილისაგან. ძაბვათა თანაფარდობა ტრანსფორმატორის გრაგნილებზე ხვიათა რიცხვის შეფარდების პროპორციულია. როგორც წესი ერთფაზიანი ტრანსფორმატორის პირველად გრაგნილს უფრო მეტი ხვები აქვს, ვიდრე მეორად გრაგნილს.

შემავალი ძაბვის შეფარდება მეორად ძაბვასთან დაუტვირთავი ტრანსფორმატორის შემთხვევაში, პროპორციულია პირველადი გრაგნილის ხვების რიცხვის შეფარდებისა მეორადი გრაგნილის ხვების რიცხვთან. დენის ძალები ამ გრაგნილებში უკუ დამოკიდებულებაში იმყოფება.

იმის გამო, რომ ტრანსფორმატორში შემავალი და გამავალი სიმძლავრეები თითქმის ერთნაირია, მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მ.ქ.კ.) ძალიან მაღალია და 96-98%-ს აღწევს. ტრანსფორმატორის ძაბვას, დენის ძალასა და სიმძლავრეს შორის შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$U_{\text{მეორ.}} = U_{\text{პირ.}}/n; \quad J_{\text{მეორ.}} = n \cdot J_{\text{პირ.}}; \quad P_{\text{მეორ.}} = (96-98\%) \cdot P_{\text{პირ.}}$$

სადაც U -ძაბვაა, ვ
 J -დენის ძალა, ა
 n -ხეივების რიცხვი პირველ გრავნილში
 P -ტრანსფორმატორის სიმძლავრე, კვა

ძალური ტრანსფორმატორის სასურველი სიმძლავრე P , კვა, შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$P = \frac{G_{\text{დღე-ღამე}} \cdot W}{86,4 \cos \varphi \cdot K}$$

სადაც

$G_{\text{დღე-ღამე}}$ - ღუმელის წარმადობაა, ტ/დღე-ღამეში;

W - ელექტროენერჯიის ხვედრითი ხარჯი, მჯ/ტ;

$\cos \varphi$ - ღუმელის სიმძლავრის კოეფიციენტი, რომელიც დიდი სიმძლავრის ღუმელისათვის 0,85-0,87-ის ტოლია, ხოლო სარაფინაციო ღუმელისათვის კი 0,93-0,96-ს

K - ღუმელის სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი, რომელიც უწყვეტი პროცესით მომუშავე მძლავრი ღუმელისათვის 0,97-0,98-ს შეადგენს, ხოლო პერიოდულად მომუშავე ღუმელებისათვის კი 0,75-0,90 დიაპაზონში იცვლება.

თუ ელ.ენერჯიის ხარჯი (W) გამოსახულია კვტ.სთ/ტ, მაშინ ტრანსფორმატორის სიმძლავრის ფორმულა შემდეგ სახეს მიიღებს:

G დღე-ღამე **W**

P = _____

24. $\cos\phi$. K

ფეროშენადნობების მისაღებად იყენებენ სამფაზა ან ერთფაზიან სამ ტრანსფორმატორს. ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურობიდან და ძალოვანი ტრანსფორმატორის დანიშნულებიდან გამომდინარე, განისაზღვრება მეორადი ძაბვის საფეხურების რაოდენობა.

ზოგიერთი ფეროშენადნობების გამოსადნობი ღუმელების ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

რკალური ფოლადსადნობი ღუმელებისაგან განსხვავებით, ფეროშენადნობების ღუმელებს შედარებით თანაბარი დატვირთვის განრივი გააჩნია, ამიტომაც დროსელის გამოყენებას აღარ საჭიროებს.

ფეროშენადნობების ღუმელების ძირითადი პარამეტრები

პარამეტრები	ღუმელის სახეობა*						
	PKO-2,5	PKO-3,5	PKO-10,5	PKO-16,5 PK3-16,5	PK3-24	PK3-33	PK3-48
სიმძლარე, კვა	2500	3500	10500	16500	24000	33000	48000
მეორადი ძაბვა, ვ	178-89	371-260	250-100	210-132	245-155	250-130	238,5-137,0
დენის მაქსიმალური ძალა ელექტროლზე, კა	13,0	13,0	38,4	59,0	71,0	87,0	111,8
ელექტროდის დიამეტრი, მმ	300-450	300-450	800	1200	1200	1500	2800 X
გაშლის დიამეტრი, მმ	1200-1400	1200-1400	**	2900	3400	4000	650 3300
ელექტროდის მაქსიმალური გადაადგილება, მმ	2350	2350	**	1200	1500	1600	1200
აბაზანის დიამეტრი, მმ	2700	2700	4000	6200/6700	7200	8700	20340 X
აბაზანის სიღრმე, მმ	1200	1300	1700	2300	2600	3000	6000 2850
გადაცემის დიამეტრი, მმ	4300	5000	6200	7800/8300	8900	10500	7800
აბაზანის ბრუნვის სიხშირე, სთ ⁻¹ ***	5,4	5,4	1-2	1/33: 1/32	1/48: 1/194	1/60: 1/200	–
დახრის კუთხე, გრად.	30	30	30	–			

* P– მადანადღეენითი ღუმელი, K–მრგვალი,
Π–სწორკუთხა, O- ღია, Z-დახურული, ციფრები
მიუთითებს სიმძლავრეს, მვა;

** –არ არის დამუშავებული;

*** –მრიცხველი უწილო პროცესია, მნიშვნელი
წიდიანი.

7.7 მოკლე ძსელი

დენმიმეყან უბანს ტრანსფორმატორის მეორადი გრანნილიდან ელექტროდების ჩათვლით მოკლე ქსელი ეწოდება. დიდი სიმძლავრის ფეროშენადნობების ღუმელისათვის ელექტროენერჯიის დანაკარგი მოკლე ქსელში მთლიანი დანაკარგების 35%-ს შეადგენს. ამ დანაკარგების 3-10% მოდის სალტესა და ყბებზე, ხოლო 4-12% ელექტროდებზე. იმის გამო, რომ მოკლე ქსელი ათი ათასობით ამპერ დენს ატარებს, გამტარების გარშემო წარმოიქმნება მძლავრი მაგნიტური ველი, რომელიც ფაზების არათანაბარ დატვირთვას იწვევს.

ამ უარყოფითი ეფექტის შესამცირებლად მოკლე ქსელს მასიური სალტეებისგან კი არ ამზადებენ, არამედ ისეთი ბრტყელი სპილენძის სალტეებისგან, რომელთაც სიგანის სისქესთან შეფარდების მაღალი მაჩვენებელი აქვს.

სალტის დასაშვები სისქის ზომა შემდეგი გამოსახულებიდან იანგარიშება:

$$\delta = 503 \cdot \frac{\sqrt{p}}{\mu \cdot f}$$

სადაც

δ – სალტის სისქეა, სმ

p – კუთრი ელწინაღობა, ომი. მ

μ – ფარდობითი მაგნიტური შეღწევაღობა

f – დენის სიხშირე, ჰერცი

ცვლადი დენის შემთხვევაში (სიხშირე 50 ჰერცი) წითელი სპილენძისგან დამზადებული სალტის სისქე არ აღემატება 13 მმ-ს, ხოლო ალუმინისგან დამზადებულის შემთხვევაში კი 17 მმ-ს.

აქტიური წინაღობისა და კონტაქტებში დანაკარგების შემცირების მიზნით, დენმიმყვან სალტეებს ადუღებენ. მოკლე ქსელის საერთო აქტიური წინაღობიდან გამომდინარე, შეიძლება განისაზღვროს დუმელის სიმძლავრის დანაკარგი, კვტ:

$$P_{\text{დანაკ}} = 3J^2 R_{\text{აქ}} \cdot 10^{-3},$$

სადაც

$P_{\text{დანაკ}}$ – სიმძლავრის დანაკარგია, კვტ;

J – დენის ძალა, ა;

$R_{\text{აქ}}$ – მოკლე ქსელის აქტიური წინაღობა, ომი.

სიმძლავრის დანაკარგი მოკლე ქსელში ($P_{\text{დანაკ. მ.ქ}}$) განისაზღვრება ქსელის სასურველი სიმძლავრისა (P პირველად მხარეს) და ელექტროდზე (კაზმის დონეზე) არსებული სასარგებლო სიმძლავრეთა სხვაობით. მოკლე ქსელის ფაზის აქტიური წინაღობა ტოლია:

$$R_{\text{მ.ქ}} = \frac{P_{\text{დანაკ}} \cdot 10^{-3}}{3J^2}$$

ფეროშენადნობების ღუმელების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მოკლე ქსელის რეაქტიული წინაღობა, რომელიც დამოკიდებულია თვითინდუქციასა და ღუმელის დენმიმყვანი ცალკეული უბნების ურთიერთშორისო ინდუქციაზე. მოკლე ქსელის რეაქტიული წინაღობა ამცირებს ღუმელის საერთო აქტიურ სიმძლავრეს ($\cos\varphi$ -ს დაბალი მნიშვნელობის გამო) სასარგებლო სიმძლავრესა და წარმადობას. $\cos\varphi$ შემდეგი გამოსახულებიდან იანგარიშება:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{აქტ.}}}{J \cdot U_{\text{საფ}} \cdot \sqrt{3}}$$

სადაც $P_{\text{აქტ.}}$ — აქტიური სიმძლავრეა, კვტ
 $U_{\text{საფ}}$ — მოცემულ საფეხურზე ძაბვა, ვ

$\cos\varphi$ -ს მნიშვნელობის გაზრდა შესაძლებელია სიმეტრიულად განლაგებული სამი ერთფაზიანი

ტრანსფორმატორის ღუმელთან მაქსიმალური მიახლოებითა და მისი მეორადი გრაგნილების ელექტროდებთან სამკუთხა შეერთებით განხორციელდეს.

7.8 ელექტროდების, ელექტროდების ბაშლისა და ღუმელის აბაზანის დიამეტრი

ფეროშენადნობების ღუმელის ელექტროდის დიამეტრი დენის დასაშვები სიმკვრივის (j) მიხედვით განისაზღვრება . თვითცხოვადი ელექტროდებისათვის დენის დასაშვები სიმკვრივე 4-7 ა/სმ² ფარგლებში მერყეობს. სამფაზა ღუმელისათვის, რომლის ტრანსფორმატორის სიმძლავრე 13500 კვტ-ა, ხოლო ნომინალური ხაზობრივი ძაბვა კი $U_{ხ.ა.}=176,5$ ვ, ხაზობრივი დენის ძალა შემდეგი გამოსახულებიდან განისაზღვრება:

$$J_{ხ.ა.} = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ხ.ა.}} = \frac{13500 \cdot 1000}{1,73 \cdot 176,5} = 44300 \text{ ა.}$$

როცა დენის სიმკვრივე $j=5$ ა/სმ², ელექტროდის დიამეტრი იქნება:

$$d_{ელექ} = \sqrt{4 \cdot J_{ხ.ა.}} / \sqrt{\pi \cdot j} = 106 \text{ სმ} \approx 1100 \text{ მმ}$$

ცილინდრული ფორმის ღუმელისთვის, ელექტროდების განლაგებას ელექტროდების განშლის მიხედვით აფასებენ, ხოლო სწორკუთხა ღუმელების შემთხვაში კი ორ უახლოეს ელექტროდების ცენტრებს შორის მანძილით.

ცილინდრული ფორმის ღუმელებისათვის განშლის დიამეტრი მისი ელექტროდის დიამეტრთან შეფარდებით განისაზღვრება. აღნიშნული შეფარდება 2-3 ზღვრებში მერყეობს. შეფარდების მცირე მაჩვენებელი უფრო მძლავრი და ენერგოტევადი ღუმელებისათვის გამოიყენება.

ფეროშენადნობების ღუმელის აბაზანის დიამეტერს, ელექტროდების განშლის დიამეტრის მიხედვით ირჩევენ. როგორც წესი აბაზანის დიამეტრის შეფარდებას ელექტროდების განშლის დიამეტრთან ($d_{განშ}$) 1,8-2,3-ის ტოლად მიიჩნევენ. ამ თანაფარდობაში ელექტროდებსა და აბაზანის ამონაგს შორის დასაშვები სიცარიელეცაა (a) ნაგულისხმები. ღუმელის აბაზანის დიამეტრი შემდეგი დამოკიდებულებიდან იანგარიშება:

$$d_{აბაზ.} = d_{განშ} + d_{ელექ} (1+2K), \quad \text{სადაც } K = \frac{a}{d_{ელექ}}$$

13500 კვა სიმძლავრის ღუმელისათვის აბაზანის დიამეტრი ტოლია:

$$d_{აბაზ.} = 2,1 \cdot d_{განშ} = 2,1 \cdot 2,75 = 5,8 \text{ მ}$$

აბაზანის სიღრმეს ელექტროდის დიამეტრთან მიმართებაში ანგარიშობენ:

$$H_{\text{აბაზ}} = (2,2 \div 3,0) \cdot d_{\text{ელექ}}$$

220 კვ.ა/მ³ მოცულობითი სიმძლავრისა და 13500 კვა სიმძლავრის ღუმელის შემთხვევაში შახტას მოცულობა ტოლი იქნება:

$$V_{\text{შახტა}} = 13500 / 220 = 61,4 \text{ მ}^3;$$

აბაზანის სიღრმე კი (როცა ფართობი $S = \pi \cdot 5, 8^2 / 4 = 26, 4 \text{ მ}^2$)

$$H_{\text{აბაზ}} = \frac{V_{\text{შახტა}}}{S} = 61,4 / 26,4 = 2,3 \text{ მ.}$$

ცეცხლგამძლე ამონაგის სისქის გათვალისწინებით (750 მმ), ღუმელის გარცმის დიამეტრი იქნება:

$$5800 + 2 \cdot 750 = 7300 \text{ მმ}$$

ელექტროდების განშლისა და აბაზანის დიამეტრი და სიღრმე, დახურულ ღუმელებს უფრო მეტი აქვს ვიდრე ღია ტიპისას. 13500 კვა სიმძლავრის დახურული ღუმელი შემდეგი საორიენტაციო მაჩვენებლებით ხასიათდება:

$d_{განუ}=3,5$ მ, $d_{აბავ}=7,3$ მ და $H_{აბავ}=3,5$ მ.

სარაფინაციო ფეროშენადნობების ღუმელის ანგარიშისას ფოლადის სადნობი რკალური ღუმელის პარამეტრებს შორის დამოკიდებულებას იყენებენ.

8. ზეოლოგიალური მიწების ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლები

ელემენტების უმრავლესობა ბუნებაში ოქსიდებისა და სხვადასხვა მჟავას მარილების სახით გვხვდება. ასე მაგალითად:

მანბანში ბუნებაში გავრცელებულია შემდეგი მინერალების სახით: **MnO₂** (პიროლუზიტი), **Mn₂O₃** (ბრაუნიტი), **MnO₂Mn(OH)₂** (მანგანიტი), **Mn₂O₃·4H₂O** (ფსილომელანი), **Mn₃O₄** (ჰუსმანიტი), **MnCaCO₃** (მანგანოკალციტი), **MnCO₃** (როდოქროზიტი), **MnOSiO₂** (როდონიტი) და სხვა.

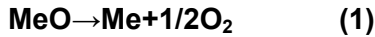
რკინა ძირითადად შემდეგი მინერალებითაა წარმოდგენილი: **Fe₃O₄** (მაგნეტიტი), **Fe₂O₃** (ჰემატიტი), **Fe₂O₃·mH₂O** (ლიმონიტი), **FeCO₃** (სიდერიტი), **FeTiO₃** (ილმენიტი)

ქრომი გვხვდება მაგნოქრომიტის (**MgFe**)O·Cr₂O₃, ქრომიტიტისა (**Mg,Fe**)·O·(Cr,Al)₂O₃ და ალუმინოქრომიტის (**FeO**·(Cr,Al)₂O₃) სახით.

ალუმინი კორუნდის (Al₂O₃), მულიტის (3Al₂O₃·2SiO₂), ნეფელინის ((Na,K)₂O·Al₂O₃·2SiO₂), კაოლინიტისა (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O) და სხვა მინერალების სახით არსებობს.

სპილენძი ჰალკობრიტის (CuFeS₂), ჰალკოზინის (Cu₂S), კუპრიტის (Cu₂O) და სხვა ჰიდროკარბონატების სახითაა გავრცელებული (როგორცაა მალაქიტი (CuCO₃·Cu(OH)₂) და სხვა).

ლითონის მიღებისას აუცილებელი ხდება შესაბამისი ელემენტების აღდგენა მისი ნაერთებიდან. ოქსიდებიდან ელემენტის აღდგენის უმარტივეს საშუალებას თერმული დისოციაცია წარმოადგენს.



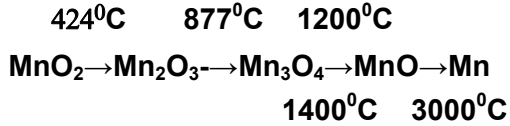
თუმცა, ძნელია დაცული იქნეს დისოციაციისათვის აუცილებელი პირობა, კერძოდ ჟანგბადის დისოციაციის დრეკადობა $P_{\text{O}_2(\text{MeO})}$ უნდა აღემატებოდეს აირად ფაზაში ჟანგბადის პარციალურ წნევას p_{O_2} აირ.ფ.



ამ პირობის დაცვა ვაკუუმშიც პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც ჟანგბადის დისოციაციის დრეკადობა $P_{\text{O}_2(\text{MeO})}$ ძალიან მცირე სიდიდეა, მაგალითად:



მართლაც, მანგანუმის ოქსიდების თერმულ დისოციაციის მაგალითზე ნათლად ჩანს რაოდენ მაღალი ტემპერატურაა საჭირო ლითონური მანგანუმის მისაღებად:



ამიტომაც, ოქსიდებიდან სასურველი ელემენტის მისაღებად აუცილებელი ხდება აღმდგენელის გამოყენება.

აღმდგენელის შერჩევისას აუცილებელია პასუხი გაეცეს შემდეგ კითხვებს:

1. შეძლებს თუ არა შერჩეული აღმდგენელი მიზნობრივი ელემენტის აღდგენას.
2. როგორი იქნება აღდგენილი ელემენტის ამოკრფვის ხარისხი მადნიდან ლითონში.
3. როგორი იქნება მადნიდან მიზნობრივი ელემენტის აღდგენის სიჩქარე.

აქედან პირველ ორ კითხვაზე ექსპერიმენტის ჩატარების გარეშე ამომწურავად პასუხობს თერმოდინამიკური გათვლები, ხოლო მე-3 კითხვაზე პასუხის გაცემა შესაძლებელია მხოლოდ და მხოლოდ აღდგენის პროცესის მექანიზმის შესწავლის შემდეგ, იგი კინეტიკის სფეროა და სპეციალურ ექსპერიმენტულ გამოკვლევებს საჭიროებს.

8.1 ელემენტის ალბენის შესაძლებლობის განსაზღვრა მისი ოქსიდიდან

აღსადგენი ოქსიდი ავლნიშნოთ MeO -თი, ხოლო აღმდგენელი Me^{I} -ით. რა პირობა უნდა იქნეს დაცული იმისათვის რომ წავიდეს შემდეგი რეაქცია:



ეს რეაქცია მხოლოდ მაშინ წავა, როდესაც აღმდგენელს (Me^{I}) უფრო მეტი ნათესაური კავშირი ექნება ჟანგბადთან ვიდრე აღსადგენ ელემენტს (Me).

ელემენტის ჟანგბადთან ნათესაური კავშირის მახასიათებელ სიდიდეს იზობარული პოტენციალი (იზობარული-მუდმივი წნევა) (ΔG°) წარმოადგენს.

იქიდან გამომდინარე, რომ ყველა აღდგენით რეაქციას თან ახლავს დაჟანგვის რეაქციაც, (1) რეაქცია ორი რეაქციის ჯამად შეიძლება წარმოვადგინოთ:



ბუნებრივია, რომ (1) რეაქცია თვითნებურად მხოლოდ მაშინ შეიძლება წავიდეს, როდესაც ΔG°_1 -ის აბსოლუტური მნიშვნელობა უფრო ნაკლები იქნება ΔG°_2 -ის აბსოლუტურ მნიშვნელობაზე, ე.ი. როცა $|\Delta G^{\circ}_1| < |\Delta G^{\circ}_2|$.

ΔG° -ს ანუ ჯიბსის ენერჯიის (ამერიკელი მეცნიერის ჯიბსის საპატივცემულოდ) ტემპერატურაზე დამოკიდებულებების განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$\Delta G^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_T - T \Delta S^{\circ}_T \quad (4)$$

სადაც ΔH°_T - ენთალპიაა ანუ რეაქციის თბური ეფექტი შებრუნებული ნიშნით ($H = -Q$), ხოლო ΔS°_T ენტროპიაა, რომელსაც ზოგჯერ დაეყვანილ

Q

სითბოსაც უწოდებენ ($S = -$). თავისმხრივ

T

$$\Delta H^{\circ}_T = \Delta H_{298} + \int_{298}^{T_{გარ}} \Delta C_p dT + q_{გარ} + q_{დნ} + \int_{T_{დნ}}^T \Delta C_p^I dT \quad (5)$$

და

$$\Delta S^{\circ}_T = \Delta S_{298} + \int_{298}^{T_{გარ}} \frac{\Delta C_p}{T_{გარ}} dT + \frac{q_{გარ}}{T_{დნ}} + \frac{q_{დნ}}{T_{დნ}} + \int_{T_{დნ}}^T \frac{\Delta C_p^I}{T} dT \quad (6)$$

სადაც: $T_{გარ}$ – ფაზური გარდაქმნის შესაბამისი ტემპერატურაა.

$T_{დნ}$ – დნობის ტემპერატურა;

$q_{გარ}$ – გარდაქმნის სითბო;

$q_{დნ}$ – დნობის სითბო;

ΔC_p – კუთრი სითბოტევადობის ცვლილება.

იმისათვის, რომ ამოვხსნათ მე-5 და მე-6 გამოსახულებაში მოცემული ინტეგრალები,

აუცილებელია მოცემული გვექონდეს $\Delta C_p = F(T)$
 დამოკიდებულების განტოლება:

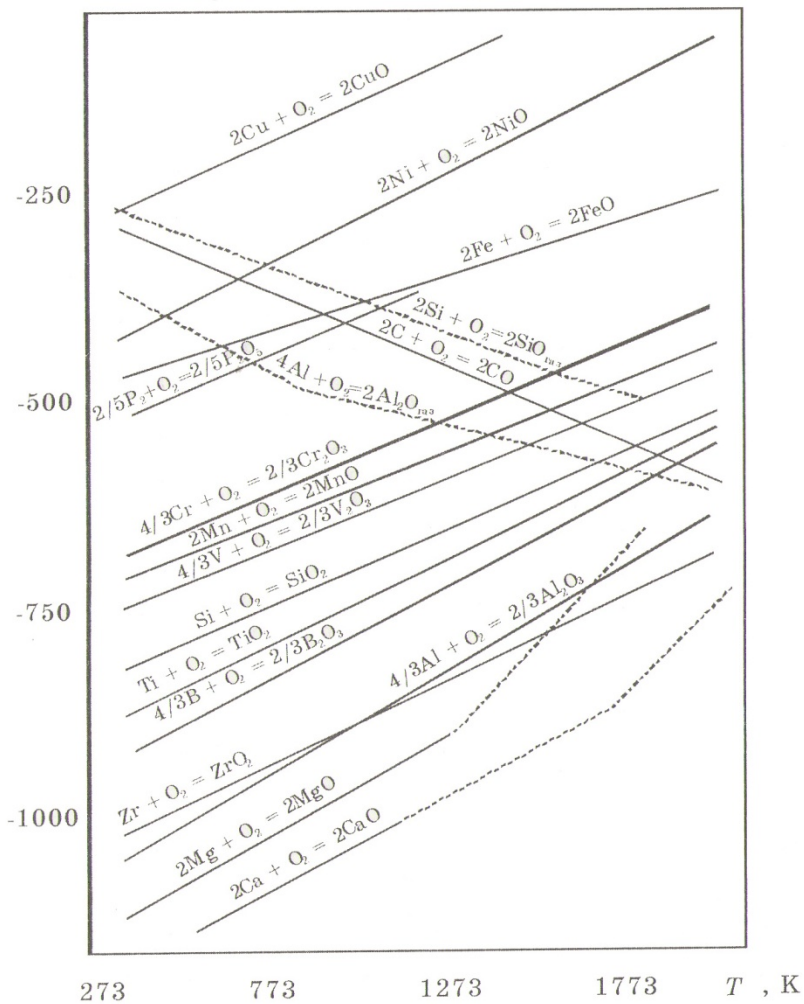
$$C_p = a + bT + dT^2 \quad (7)$$

სადაც **a**, **b** და **d** სტექქომეტრიული კოეფიციენტებია და იგი სხვადასხვა ნივთიერებებისათვის ცხრილებშია მოცემული.

აღნიშნულ გამოსახულებაში Δ შესაბამისი სიდიდეების ცვლილებაზე მიუთითებს.

გამარტივების თვალსაზრისით ΔG^0 -ს ანგარიშისას შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა სახელმძღვანელოებსა და ცნობარებში არსებული ცხრილები ან ΔG^0 -ს ცვლილების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულება (სურ. 1), სადაც მაღალ ტემპერატურულ ინტერვალში (1500–2000K) სხვადასხვა ოქსიდებისათვის წინასწარაა მოცემული ΔG^0 -ს მნიშვნელობები.

გრაფიკული გამოსახულებიდან გამომდინარე, ლითონებს შორის ყველაზე დიდი სწრაფვა ჟანგბადთან **Ca**-ს ახასიათებს, ხოლო ყველაზე სუსტი სპილენძს. ერთადერთი მრუდი, რომელიც ყველა მრუდს კვეთს ნახშირბადის ჟანგბადთან ურთიერთობის გამომსახველია, ყველა სხვა ელემენტისაგან განსხვავებით ტემპერატურის გაზრდით ამ მრუდის ΔG^0 -ს უარყოფითი მნიშვნელობა კლებულობს, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მაღალ ტემპერატურაზე ნახშირბადი ყველაზე კარგი აღმდგენელია.



სურ. 1. ჯიბსის სტანდარტული ენერჯის ცვლილებების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

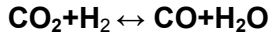
8.2 რეაქციის წონასწორობა, შექცევადი და შეუქცევადი რეაქციები

წონასწორული ეწოდება სისტემის ისეთ თერმოდინამიკურ მდგომარეობას, რომელიც დროის მიხედვით არ იცვლება. წონასწორობის მდგომარეობა გარეგან ფაქტორებზეა დამოკიდებული. თერმოდინამიკის კანონიდან გამომდინარე ნებისმიერი თერმოდინამიკური სისტემა წონასწორობისაკენ მიისწრაფვის. წონასწორობისას პროცესი კი არ წყდება არამედ ატარებს მოძრავ დინამიკურ ხასიათს. ქიმიური წონასწორობისას პირდაპირი რეაქციის პარალელურად ვითარდება შებრუნებული რეაქციაც. წონასწორობა მყარდება მაშინ როდესაც პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციის სიჩქარეები ერთმანეთს გაუტოლდება.

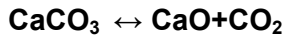
თერმოდინამიკურ ქიმიურ წონასწორობას საწყისი ნივთიერებებისა და რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციების ისეთი თანაფარდობა შეესაბამება, როდესაც ენტროპია არის მაქსიმალური, ხოლო თავისუფალი ენერჯიის ცვლილება მინიმალური.

ქიმიური რეაქცია ორ ჯგუფად – შექცევად და შეუქცევად იყოფა. შექცევადი ისეთი რეაქციებია, როდესაც რეაქციის პროდუქტების ურთიერთქმედებით საწყისი ნივთიერებები წარმოიქმნება. შექცევადი ქიმიური რეაქციები ბოლომდე არ მიმდინარეობს, არამედ რაღაც ზღვარს აღწევს, რომლის შემდეგაც მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციების ცვლილება აღარ შეინიშნება. მაგალითად: მაღალ ტემპერატურაზე

ნახშირორქანგისა და წყლის ურთიერთქმედებით
ნახშირუანგი და წყლის ორთქლი მიიღება



შეუქცევადი ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობისას, საწყისი ნივთიერებები პრაქტიკულად ბოლომდე გარდაიქმნება რეაქციის პროდუქტებად. შეუქცევადობის ძირითად პირობას წარმოადგენს წარმოქმნილი პროდუქტის გაყვანა სარეაქციო ზონიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში შეუქცევადი რეაქციები შეიძლება შექცევადი გახდეს. მაგალითად, დახშულ ჭურჭელში კირქვის გამოწვით დაგროვილი CaO -სა და CO_2 -ის ურთიერთქმედებით კვლავ CaCO_3 მიიღება:



8.3 რეაქციის წონასწორობის მუდმივას განსაზღვრა

ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ბევრ შემთხვევაში ქიმიური რეაქციის სიჩქარე პირდაპირ პროპორციულ დამოკიდებულებაშია მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციებთან.



პირდაპირი რეაქციის სიჩქარე $V_1 = K_1 \cdot C_A \cdot C_B$ სადაც K_1 პირდაპირი რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა, რომელიც

საწყისი ნივთიერებების ბუნებასა და ტემპერატურაზეა დამოკიდებული. C_A და C_B A და B ნივთიერებების კონცენტრაციებია.

ქიმიური რეაქციის განვითარებასთან ერთად A და B ნივთიერებების კონცენტრაციები მცირდება, ხოლო C და D იზრდება. შებრუნებული რეაქციის სიჩქარე

$V_2 = K_2 C_C C_D$ სადაც K_2 - შებრუნებული რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა.

წონასწორობისას $V_1 = V_2$ ე.ი.

$$K_1 C_A C_B = K_2 C_C C_D \quad \text{საიდანაც}$$

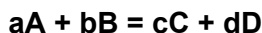
$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{C_C C_D}{C_A C_B} = K_c \quad (1)$$

სადაც K_c წონასწორობის მუდმივაა, რომელიც დამოკიდებული არ არის მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციებზე, არამედ დამოკიდებულია მათ ბუნებასა და ტემპერატურაზე.

თუ მორეაგირე ნივთიერებებისა და რეაქციის პროდუქტების კონცენტრაციებს A, B, C და D ასოებით ავლნიშნათ, მაშინ (1) გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$K_c = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]} \quad (2)$$

თუ რეაქციაში რამოდენიმე მოლეკულა მონაწილეობს:



მაშინ წონასწორობის მუდმივა

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \quad (3)$$

მე-3 გამოსახულება მომქმედ მასათა კანონს წარმოადგენს, რომლის მიხედვითაც რეაქციაში შესული ნივთიერებათა მასა რეაქციის შედეგად მიღებულ ნივთიერებათა მასის ტოლია.

განვიხილოთ რეაქცია $2CO + O_2 \leftrightarrow 2CO_2$,
წონასწორობის მუდმივა

$$K_c = \frac{[CO_2]^2}{[CO]^2 \cdot [O_2]} \quad (4)$$

აირადი ფაზის არსებობის შემთხვევაში ნივთიერების კონცენტრაციები მათი პარციალური წნევებით შეიძლება შეიცვალოს. ამ დროს წონასწორობის მუდმივას K_p -თი

აღნიშნავენ. აქედან გამომდინარე მე-4 გამოსახულება შემდეგ სახეს მიიღებს

$$K_p = \frac{P_{CO_2}^2}{P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}} \quad (5)$$

სადაც P_{CO_2} , P_{CO} და P_{O_2} შესაბამისი აირების პარციალური წნევებია წონასწორობისას.

ერთი და იგივე რეაქციისათვის K_c და K_p მუდმივები ერთმანეთის ტოლი არ არის

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} \quad (6)$$

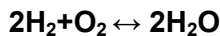
სადაც Δn აირადი ნივთიერებების მოლეკულის გარდაქმნის რიცხვია,

R - აირის უნივერსალური მუდმივაა

PV

$R = \frac{PV}{T}$ მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლებიდან.

რეაქციისათვის



$\Delta n = 2 - (2 + 1) = -1$, რადგანაც 3 მოლი ნივთიერებისგან მიღებულია 2 მოლი ნივთიერება. აღნიშნულის

გათვალისწინებით მე-6 განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$K_p = K_c (RT)^{-1}$$

ე.ი. $K_p = \frac{K_c}{RT}$ (7)

თუ საწყისი და საბოლოო მოლეკულის რიცხვი ტოლია, მაშინ $\Delta n = 0$, ეს ის შემთხვევაა, როცა $K_p = K_c$.

რეაქციის წონასწორობის მუდმივა შეიძლება მოლეკური წილითაც გამოისახოს:

$$K_N = \frac{N_c \cdot N_D}{N_A \cdot N_B}$$
 (8)

წონასწორობის მუდმივა გამოსახული კონცენტრაციებითა და მოლეკური წილით აქტიურობის კოეფიციენტის გათვალისწინების გარეშე სამართლიანია მხოლოდ ძლიერ განზავებული ხსნარებისათვის, რომელებიც იდიალური სისტემების კანონს ექვემდებარება:

$$K_N = \frac{N_c \cdot Y_c \cdot N_D \cdot Y_D}{N_A \cdot Y_A \cdot N_B \cdot Y_B}$$
 (9)

სადაც Y_A, Y_B, Y_C და Y_D შესაბამისი ნივთიერებების აქტიურობის კოეფიციენტებია

$$K_c = \frac{C_c \cdot Y_c \cdot C_D \cdot Y_D}{C_A \cdot Y_A \cdot C_B \cdot Y_B} \quad (10)$$

რეაქციის წონასწორობის მუდმივა, რომელიც აქტიურობითაა გამოსახული ყველა რეალური სისტემისათვისაა სამართლიანი

$$K_a = \frac{a_c \cdot a_D}{a_a \cdot a_B} \quad (11)$$

აქტიურობა $a = NY$ (12)

სადაც N - ნივთიერების მოლური წილია
 Y - აქტიურობის კოეფიციენტი

მოცემული კომპონენტის აქტიურობა ხსნარის შედგენილობაზე, ტემპერატურასა და წნევაზე დამოკიდებული.

აქტიურობის ნაცვლად შეიძლება ზოგჯერ მხოლოდ აქტიურობის კოეფიციენტითაც ვისარგებლოთ.

8.4 ლე-შატელიეს პრინციპის გამოყენება მეტალურგიული პროცესის ანალიზისას

ლე-შატელიეს პრინციპი ანუ მოძრავი წონასწორობის პრინციპი შეიძლება განვიხილოთ როგორც წესი, რომელიც ახასიათებს თერმოდინამიკური სისტემის არსებობის შეცვლის გავლენას წონასწორობაზე. ეს პრინციპი კერძო სახით 1884 წელს ვანტ-ჰოფმა გამოთქვა, ზოგადად ლე-შატელიემ ჩამოაყალიბა, ხოლო თეორიულად 1887 წელს კბრაუნმა დაასაბუთა, რომელმაც აჩვენა, რომ ლე-შატელიეს პრინციპი თერმოდინამიკის მე-2 კანონის შედეგს წარმოადგენს.

ლე-შატელიეს პრინციპი შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს. თუ სისტემაზე, რომელიც მდგრად წონასწორობულ მდგომარეობაში იმყოფება ვიმოქმედებთ გარედან და შევცვლით რაიმე პირობას, რომელიც განსაზღვრავს მის წონასწორობულ მდგომარეობას, მაშინ წონასწორობა შეიცვლება იმ მიმართულებით, რომლის შედეგადაც ამ ქმედების ეფექტი შემცირდება.

პირობები, რომელთა შეცვლას შეუძლია იმოქმედოს რეაქციის ან ფაზური გარდაქმნის წონასწორობაზე არის ტემპერატურა, წნევა და მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაცია. მდგრადი წონასწორობისას, როგორც ავლნიშნეთ, პირდაპირი და შებრუნებული რეაქციების სინქარეთა ჯამი ერთმანეთს უტოლდება, ხოლო მათ თბურ ეფექტებს საწინააღმდეგო ნიშნები აქვთ. ტემპერატურის გაზრდა იწვევს წონასწორობის შეცვლას იმ მიმართულებით, რომელსაც თან ახლავს სითბოს შთანთქვა, ხოლო ტემპერატურის შემცირება

საწინააღმდეგო მიმართულებით მოქმედებს. ამის მსგავსად, წნევის გაზრდა ცვლის წონასწორობას იმ მიმართულებით, რომელსაც თან ახლავს მოცულობის შემცირება და პირიქით. თუ სისტემაში რომელიც მდგრად ქიმიურ წონასწორობაში იმყოფება, ერთ-ერთ მორეაგირე ნივთიერების დამატებით რაოდენობას შევიტანთ, მაშინ წონასწორობის შეცვლა მოხდება იმ მიმართულებით, რომელიც ამ ნივთიერების კონცენტრაციას შეამცირებს.

ვინაიდან უმრავლესი მეტალურგიული პროცესი უმეტესად მუდმივი გარეგანი წნევის ქვეშ მიმდინარეობს, მათი წონასწორობის ძირითადი განმსაზღვრელი პირობა ტემპერატურაა.

ქიმიური რეაქციის წონასწორობაზე ტემპერატურის გავლენის დადგენა ეყრდნობა თერმოდინამიკურ განტოლებას:

$$\frac{d\ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (1) \quad (\text{იზობარის განტოლება})$$

აქ ჩვეულებრივ ორი შემთხვევა განიხილება:

1) ენდოთერმული პროცესებისათვის ე.ი. როცა $\Delta H > 0$ - ზე, წონასწორობის მუდმივას წარმოებული $d\ln K_p / dT$ დადებითია, რაც ნიშნავს, რომ წონასწორობის მუდმივა ტემპერატურის ზრდადი ფუნქციაა, ე.ი. ტემპერატურის გაზრდით რეაქციის პრუდუქტის წონასწორული

კონცენტრაციები იზრდება, ხოლო საწყისი ნივთიერებებისა მცირდება.

2) ეგზოთერმული პროცესებისათვის, ე.ი. როცა $\Delta H < 0$ -ზე, წარმოებული $d\ln K_p /dT$ უარყოფითია და K_p არის ტემპერატურის კლებადი ფუნქცია. ეს ნიშნავს რომ ტემპერატურის შემცირებით რეაქციის პროდუქტების წონასწორული კონცენტრაცია მცირდება, ხოლო საწყისი ნივთიერებების კი პირიქით იზრდება.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე მდგრადი წონასწორობის პირობებში ენდოთერმული რეაქციები კარგად მიმდინარეობს მაღალ ტემპერატურებზე, ხოლო ეგზოთერმული რეაქციები კი დაბალ ტემპერატურებზე. თუმცა ზოგჯერ მეტალურგიული პროცესების დროს ძირითადი განმსაზღვრელი რეაქცია ვერ აღწევს წონასწორობას, ან ისეთ ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს, რომელიც მეტია წონასწორულ მდგომარეობაზე. ასეთ შემთხვევებში ლე-შატელიეს პრინციპების გამოყენება და რაიმე დასკვნების გაკეთება სიფრთხილეს მოითხოვს, რადგანაც ნებისმიერი ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის განმსაზღვრელია არა მისი სითბური ეფექტის ნიშანი, არამედ ამ რეაქციის ჯიბსის ენერგიის ცვლილების (ΔG) ნიშანი, ხოლო რეაქციის მიმართულების მაჩვენებელია მისი ენტროპიის ცვლილების ნიშანი. ეს დასკვნები ჯიბსის ცნობილი განტოლებიდან გამომდინარეობს

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2)$$

ლე-მატელიეს პრინციპი ამ განტოლების კერძო შემთხვევად განიხილება. მართლაც რეაქციის წონასწორობისას $\Delta G = 0$ -ს, ანუ

$$\text{Lg}K_p = - \frac{\Delta G}{RT}$$

გამოსახულებიდან გამომდინარე $\text{Lg}k_p = 0$ და $k_p = 1$ -ს,.

ე.ი. $\Delta H > 0 = A$. თუ პირდაპირი რეაქცია ენდოთერმულია ე.ი. $\Delta H > 0 = A$, მაშინ ამ ტოლობიდან გამომდინარე მისი ენტროპიის ცვლილება იქნება დადებითი, ე.ი. $\Delta S > 0 = B$, და მე-2 გამოსახულება ამ შემთხვევაში ზოგადად შეიძლება ასე ჩაიწეროს $\Delta G = A - BT$, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ტემპერატურის გაზრდით ΔG უარყოფითი გახდება, ე.ი. რეაქციის მიმდინარეობის თერმოდინამიკური პირობები გაუმჯობესდება.

ანალოგიურად, თუ რეაქცია ეგზოთერმულია, ე.ი. $\Delta H < 0 = -A$ და $\Delta S < 0 = -B$ გვექნება $\Delta G = -A + BT$, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ ტემპერატურის გაზრდით ΔG გახდება დადებითი, ე.ი. რეაქციის მიმდინარეობის თერმოდინამიკური პირობები გაუარესდება.

იმის მიხედვით, თუ როგორი სახე აქვს ჯიბსის განტოლებას ქიმიური რეაქციები ოთხ ტიპად შეიძლება დაიყოს:

I – ტიპი. $\Delta G = A + BT$ ე.ი. რეაქცია ენდოთერმულია, $\Delta H > 0$ -ზე და $\Delta S < 0$ -ზე, როგორც განტოლებიდან ჩანს

$\Delta G > 0$ -ზე და $K_p < 1$ -ზე. ე.ი. რეაქცია მიმდინარეობს მარჯვნიდან მარცხნივ და ტემპერატურის გაზრდა ხელს არ უწყობს პირდაპირი რეაქციის მიმდინარეობას, მაგრამ წონასწორობის მუდმივას სიდიდე იზრდება.

II - ტიპი. $\Delta G = A - BT$ ე.ი. $\Delta H > 0$ -ზე და $\Delta S > 0$ -ზე, ამ შემთხვევაში ტემპერატურის გაზრდა ზრდის ΔG -ს უარყოფით მნიშვნელობას, ე.ი. ტემპერატურის გაზრდა ხელს უწყობს რეაქციის მიმდინარეობას, K_p იზრდება.

III - ტიპი. $\Delta G = -A + BT$ ე.ი. რეაქცია ეგზოთერმულია $\Delta H < 0$ -ზე და $\Delta S < 0$ -ზე, განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ტემპერატურის გაზრდა ხელს არ უწყობს რეაქციის მიმდინარეობას, მაგრამ ამცირებს K_p სიდიდეს.

IV - ტიპი $\Delta G = -A - BT$ ე.ი. $\Delta H < 0$ -ზე და $\Delta S > 0$ -ზე, რაც ნიშნავს, რომ $K_p > 1$ -ზე და ტემპერატურის გაზრდა ხელს უწყობს რეაქციის მიმდინარეობას, მაგრამ ამცირებს K_p სიდიდეს.

თუ როგორ ახდენს გავლენას წონასწორობის მუდმივას ზრდის ან კლების სიჩქარეზე ტემპერატურა, შესწავლილი არ არის. ლიტერატურაში მითითებულია მხოლოდ, ის რომ რაც დიდია ΔH -ის აბსოლუტური მნიშვნელობა, მით უფრო ინტენსიურია K_p -ს ცვლილება ტემპერატურის მიხედვით. $K_p = f(T)$ მრუდის ანალიზი საჭიროებს K_p -ს მეორე წარმოებულის ტემპერატურული დამოკიდებულების გამომსახველი განტოლების ცოდნას, რომლის სახე ლიტერატურაში ცნობილი არ არის. ამ განტოლების მიღების მიზნით თუ გავაწარმოებთ ტემპერატურით (1) განტოლებას, მივიღებთ

$$\frac{d^2 \text{Ln}K_p}{dT^2} = - \frac{\Delta H}{RT^3} + \frac{\Delta C_p}{RT^2} \quad (3)$$

სადაც ΔC_p რეაქციის სითბოტევადობის ცვლილებაა. ეს განტოლება შეიძლება სხვაგვარადაც წარმოისახოს:

$$\frac{d^2 \text{Ln}K_p}{dT^2} = - \frac{\Delta H}{RT^3} + \frac{\Delta C_p T}{RT^3} \quad (4)$$

ვინაიდან ΔC_p მცირე სიდიდეებია, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ $\Delta C_p T \ll \Delta H$ და მე-3 განტოლებაში მეორე წევრი უგულვებელყვით, მაშინ წონასწორობის მუდმივას მეორე წარმომავალი ტემპერატურით შეიძლება საკმარისი სიზუსტით განისაზღვროს

$$\frac{d^2 \text{Ln}K_p}{dT^2} = - \frac{\Delta H}{RT^3} \quad (5)$$

ამ განტოლებიდან გამომდინარე:

1) თუ რეაქცია ენდოთერმულია ($\Delta H > 0$), მაშინ $d^2 \text{Ln}k_p/dT^2 < 0$ -ზე და $K_p = f(T)$ მრული იქნება ამოზნექილი, რაც ნიშნავს, რომ ტემპერატურის გაზრდით თანახმად (1) გამოსახულებისა K_p კი იზრდება, მაგრამ მისი ზრდის

სიჩქარე კლებულობს და გარკვეულ ტემპერატურაზე ეს ზრდა შეიძლება უმნიშვნელო გახდეს.

2) თუ რეაქცია ეგზოთერმულია ($\Delta H < 0$), მაშინ $d^2 \ln K_p / dT^2 > 0$ -ზე და $K_p = f(T)$ მრუდი იქნება ჩაზნექილი, რაც ნიშნავს, რომ ტემპერატურის გაზრდით თანახმად (1) განტოლებისა, K_p -ს სიდიდე კი კლებულობს, მაგრამ მისი კლების სიჩქარეც აგრეთვე კლებულობს, რის გამოც გარკვეულ ტემპერატურაზე ეს კლება შეიძლება უმნიშვნელო გახდეს.

8.5 რეაქციის ბამოსაგალი და მისი ზრდის მეთოდები

ქიმიური რეაქციის თერმოდინამიკური ანალიზის პრაქტიკული მნიშვნელობა გამოიხატება იმ პირობის განსაზღვრაში, რომელიც საშუალებას მოგვცემს "ჩავახშოთ" შებრუნებული რეაქცია და პროცესი წარმართოთ სასურველი მიმართულებით მარცხნიდან-მარჯვნივ. პირდაპირი რეაქცია ბოლომდე მიდის იმ შემთხვევაში, როდესაც შებრუნებული რეაქცია რაიმე მიზეზის გამო ვერ ხორციელდება. კერძოდ:

1) რეაქცია აირად ნივთიერებებს შორის წავა ბოლომდე, თუ რეაქციის პროდუქტი მყარი ნივთიერებაა.

2) თუ რეაქციისას ხსნარებში წარმოიქმნება უხსნადი ნივთიერება, შებრუნებული რეაქცია ვერ განვითარდება.

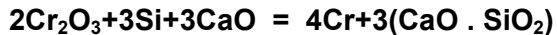
3) თუ რეაქციის შედეგად მიიღება აქროლადი ნივთიერება და იგი შორდება სარეაქციო ზონას.

4) დიდი სითბური ეფექტის მქონე რეაქციები მიმდინარეობს ბოლომდე.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, რეაქციის გამოსავლიანობის ე.ი. შესაბამისად მადნიდან წამყვანი ელემენტის ამოკრეფის გაზრდის მიზნით, რეაქციის წონასწორობაზე შეიძლება რამოდენიმე გარეგანი ფაქტორით ვიმოქმედოთ:

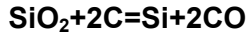
1) ფლუსების გამოყენებით ვუზრუნველყოთ რეაქციის რომელიმე პროდუქტის აქტიურობის შემცირება. მაგალითად, ქრომის უფლუსო მეთოდით გამოდნობისას:

$2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} \rightarrow 4\text{Cr} + 3\text{SiO}_2$, რეაქციის წონასწორობისას, ქრომის ამოკრეფა მხოლოდ 40-50%-ს შეადგენს. კირის დამატება ამცირებს SiO_2 -ს აქტიურობას და ქრომის აღდგენის რეაქცია ღრმად გადაინაცვლებს მარჯვნივ:



და ქრომის ამოკრეფა ამ შემთხვევაში 83-86% -მდე იზრდება.

2) რეაქციის რომელიმე პროდუქტის გაყვანა სარეაქციო ზონიდან ზრდის ელემენტის ამოკრეფას. ამ მიზნით კაზში რკინის შემცველ კომპონენტებს უმატებენ, რადგანაც რკინა დამლექის როლს თამაშობს. მაგალითად, ფეროსილიციუმის მიღებისას



+

Fe

II

FeSi (ლითონში **Fe_nSi_m**)

რკინას რეაქციის ზონიდან გაჰყავს აღდგენილი სილიციუმი, ე.ი. ირღვევა წონასწორობა, და რეაქცია კვლავ გადაინაცვლებს მარცხნიდან მარჯვნივ, ამიტომაც კონკრეტულ შემთხვევაში სილიციუმის ამოკრეფა კაზმიდან 92%-ს შეადგენს.

ზოგიერთი სპეციალური ტექნოლოგიებისათვის, სადაც რეაქციის ერთ-ერთი პროდუქტი აირადი ფაზაა, ხშირ შემთხვევაში ვაკუუმს იყენებენ. მაგალითად, ვაკუმიან ინდუქციურ ღუმელში თხევადი ფეროქრომის რაფინირებისას, ლითონის განახშირბადიანებას მასში გახსნილი ჟანგბადის ხარჯზე ახდენენ:



10⁻² ვერც.სგ. გაიშვიათებაც კი საკმარისია იმისათვის, რომ CO-ს გაწოვით ფეროქრომში ნახშირბადის შემცველობა 0,1-დან 0,02-0,03%-მდე შემცირდეს.

3) წამყვანი ელემენტის გამოსავლის გაზრდის ძლიერ საშუალებას ტემპერატურა წარმოადგენს.

ტემპერატურის გაზრდა ენდოთერმულ პროცესებში ყოველთვის ხელს უწყობს წამყვანი ელემენტის ამოკრეფის გაზრდას, თუმცა ტემპერატურის ზომაზე მეტი

მომატება შლის ღუმელის ამონაგს და იწვევს ადღგენილი ელემენტების მნიშვნელოვანი ნაწილის აორთქლებას. ამიტომაც ყველა პროცესს შესაბამისი ოპტიმალური ტემპერატურა შეესაბამება.

9. მანგანუმიანი შენადნობების წარმოება

9.1. მანგანუმის წარმოება მსოფლიოში

ამჟამად მსოფლიოში 150 სხვადასხვა სახის ფეროშენადნი დნება, რომელიც სუფთა ან გარკვეული თანაფარდობით 25-მდე ელემენტს შეიცავს. ფეროშენადნობთა წარმოებას 90 წამყვანი ქვეყნის 364 საწარმო ემსახურება. მარტო 1996 წელს მსოფლიოში გამოდნობილმა ფეროშენადნობთა საერთო რაოდენობამ 16,5 მილიონ ტონას მიაღწია, რომელთა შორის უმეტეს ნაწილს – 47,8%-ს მანგანუმიანი ფეროშენადნობები (7,89 მლნ. ტ.) შეადგენდა, ხოლო დანარჩენს ქრომიანი (3,8 მლნ. ტ./23,0%), კაუბადიანი (3,87 მლნ. ტ./23,5%) და ნიკელიანი (0,94 მლნ.ტ./5,7%) შენადნობები.

მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უდიდესი მწარმოებელი 1998 წლის მონაცემებით ჩინეთი (932 ათასი ტ.), სამხრეთ აფრიკა (429 ათასი ტ.), იაპონია (386 ათასი ტ.), საფრანგეთი (413 ათასი ტ.), უკრაინა (291 ათასი ტ.) და ბრაზილია (113 ათასი ტ.). აღნიშნული ქვეყნების მიერ წარმოებულმა მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის საერთო რაოდენობამ (2,56 მლნ. ტ.) მსოფლიო მაჩვენებლის 77,8% შეადგინა.

ამავე წელს ჩინეთმა და უკრაინამ შესაბამისად 700 ათასი ტონა (მსოფლიო წარმოების 22,7%) და 493 ათასი ტონა (16%) სილიკომანგანუმი გამოაღწო, ხოლო 287 ათასი ტ. სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკამ, 243 ათასი ტ. ნორვეგიამ, 193 ათასი ტ. ინდოეთმა, 124 ათასი ტ. ბრაზილიამ, 117 ათასი ტ. ესპანეთმა, 107 ათასი ტ.

სამხრეთ კორეამ, 105 ათასი ტ. მექსიკამ და 102 ათასი ტ. ავსტრალიამ აწარმოა.

რაფინირებული ფერომანგანუმის მსოფლიო წარმოების 70,2% კი გამოდნობილ იქნა ნორვეგიაში (166 ათასი ტ./მსოფლიო მოცულობის 25,3%), იაპონიაში (133/20,3%), ჩინეთსა (85/13,0%) და აშშ-ში (76/11,0%).

სუფთა ფოლადებზე მოთხოვნილების გაზრდამ დღის წესრიგში დააყენა ხარისხიანი ფეროშენადნობების გამოდნობის აუცილებლობის საკითხი. მანგანუმიან ფეროშენადნობთა წარმოების ტექნიკური მაჩვენებლებს უპირველეს ყოვლისა კაზმში გამოყენებული ნედლეულის ხარისხი განსაზღვრავს, მსოფლიოში კონცენტრატების ხარისხობრივი დაყოფა კი არაერთგვაროვანია, კერძოდ ფერომანგანუმიან შენადნობთა წარმოებისათვის განკუთვნილი კონცენტრატები სხვადასხვა ქვეყნის მიხედვით შემდეგ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს (ცხრილი 1).

მანგანუმის მადნების სამრეწველო მარაგი მსოფლიოში დაახლოებით 7018 მილიონ ტონას შეადგენს, რომლის 42% (2950 ათასი ტონა) ყოფილი სოციალისტური ქვეყნების ტერიტორიაზეა, ხოლო მარაგის უმეტესი რაოდენობა სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკაშია თავმოყრილი. მანგანუმის მადნების ძირითადი მწარმოებელი ქვეყნებია: სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკა, ბრაზილია, ავსტრალია, ინდოეთი, მაროკო და განა.

ცხრილი 1

მანგანუმის კონცენტრატების ხარისხზე ტექნიკური
მოთხოვნილება

კომპონენტი	მასური შედგენილობა, %							
	ფერომანგანუმი				სილიკომანგანუმი			
	უკრაინა I ს	დასავლეთ ევროპა		აშშ „ა“ ს	უკრაინა II ს	დასავლეთ ევროპა		აშშ „ბ“ ს
		I ს	II ს			III ს	IV ს	
Mn, არანაკლები	43,0	48,0	46,0	46,0	34,0	44,0	40,0	40,0
Fe, არა უმეტესი	–	–	7,5	8,0	–	9,0	12,0	16,0
SiO ₂ , არა უმეტესი	–	7,0	9,0	12,0	–	10,0	12,0	15,0
P, არა უმეტესი	–	0,12	0,15	0,18	–	0,15	0,15	0,30

საზღვარგარეთის კონცენტრატების ხარისხობრივი მაჩვენებლები მე-2 ცხრილშია ნაჩვენები.

ცხრილი 2

მანგანუმის კონცენტრატების ხარისხობრივი
მაჩვენებლები, %

კომპონენტი	უკრაინა		ავსტრალია	გაბონი	ბრაზილია	სამხრეთ აფრიკა
	I ს	II ს				
Mn	43,7	36,1	48,5	51,0	49,0	51,0
P	0,19	0,17	0,09	0,10	0,09	0,04
SiO ₂	13,1	26,1	6,8	2,6	2,5	4,8

დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა თანამეგობრობის ქვეყნებში არსებული მანგანუმის მადნების უმეტესი

ნაწილი (70,6%) ღარიბი მადნებითაა (კარბონატული და შერეული) წარმოდგენილი და მხოლოდ მესამედი (29,4%) გვხვდება ოქსიდური მადნების სახით. მარაგის 80,6% უკრაინაზე [ტოკმაკის (43,2%) და ნიკოპოლის (37,4%) საბადო], 5,7% რუსეთზე, ხოლო 4,2% ყაზახეთზე მოდის.

უკრაინის მადნების კონცენტრატები ხარისხობრივი მაჩვენებლებით აშკარად ჩამორჩება საზღვარგარეთის კონცენტრატებს. კერძოდ, როგორც მე-2 ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარეობს უკრაინის კონცენტრატებში ფოსფორისა და კაჟმიწის მოდული შესაბამისად ორჯერ და ოთხჯერ აღემატება სხვა ქვეყნის კონცენტრატებში მის ანალოგიურ მაჩვენებლებს.

უკრაინის მადნების კონცენტრატებში ფოსფორის მოდულის მაღალი მნიშვნელობა ართულებს აღნიშნული მასალებიდან მაღალხარისხიანი მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მიღების ტექნოლოგიას, კერძოდ, პირომეტალურგიული გზით საჭირო ხდება აღნიშნული კონცენტრატების წინასწარი გადამუშავება და დაბალფოსფორიანი წილების მიღება, რომლის დროსაც ტონა პროდუქციაზე 1000 კვტ. სთ. ელექტროენერგია იხარჯება და კაზმში არსებული მანგანუმის 20% იკარგება. ამიტომ ტექნოლოგიური პროცესის გასამარტივებლად და საერთაშორისო ბაზარზე კონკურენტუნარიანი მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მისაღებად საჭირო ხდება დაბალფოსფორიანი საზღვარგარეთის მადნების გამოყენება, იმ რაოდენობით, რომ ფოსფორის მოდულმა (P/Mn) 0,0035-ს არ გადააჭარბოს. თუმცა როგორც უკრაინელი

სპეციალისტები აღნიშნავენ, იმპორტული მადნების გამოყენებას უარყოფითი მხარეც გააჩნია, კერძოდ, ეს მადნები ტუტე მეტალების ოქსიდებსაც (Na_2O , K_2O) შეიცავს, რომლებიც გარკვეულ ტემპერატურაზე გამოიდევნება და ღუმელის ზედა ჰორიზონტალურ ზონაში ილექება და გარკვეული კონცენტრაციის შემთხვევაში (30%-ზე მეტი) წარმოქმნის ლოკალურ ადვილდნად და თხიერდნად წილებს, რითაც უარესდება აირგანვლადობა და დნობის ელექტრული რეჟიმი. ამასთან, მცირდება ამონაგის მდგრადობის ხანგრძლივობა და კლებულობს მანგანუმის ამოკრეფა. გარდა ამისა, იმპორტულ მადნებში რკინის მაღალი რაოდენობა ართულებს მაღალსილიციუმისანი სილიკომანგანუმის მიღების პროცესს. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ აღნიშნულ მადნებში ისეთი მავნე მინარევების არსებობა როგორცაა გოგირდი, დარიშხანი და ტყვია (რომლებიც მთლიანად გადადიან ლითონში) ფოლადის ხარისხსაც აუარესებს. ამიტომ იმპორტული მადნებისა და კონცენტრატების გამოყენების შემთხვევაში, ზემო აღნიშნული ფაქტორები აუცილებელად უნდა იყოს გათვალისწინებული.

როგორც სტატისტიკური მონაცემებიდან ირკვევა, სილიკომანგანუმისა და ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას, კონცენტრატებში ყოველი პროცენტი მანგანუმის შემცირებით დღე-ღამეში შესაბამისად 3,2-3,7 და 2,5-2,6 ტონით ეცემა ღუმელის წარმადობა და ასევე შესაბამისად 1,0-1,3 და 0,54-1,0%-ით კლებულობს მანგანუმის ამოკრეფა. ამასთან, ტონა პროდუქციაზე

დახარჯული ელექტროენერჯის ხარჯი იზრდება, კერძოდ, სილიკომანგანუმის შემთხვევაში 45-70, ხოლო ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას კი 50-54 კვტ. სთ-ით. ამიტომაცაა, რომ ნიკოპოლის მანგანუმის მადნის კონცენტრატებზე მომუშავე საწარმოები ტექნოლოგიური მაჩვენებლებით აშკარად ჩამოუვარდება საზღვარგარეთის სხვა მადნების კონცენტრატებზე მომუშავე საწარმოების მაჩვენებლებს.

9.2. მანგანუმის წარმოება საქართველოში

საქართველოში 14 მანგანუმის საბადოა გამოვლენილი, რომელთა შორის სამრეწველო მნიშვნელობის მხოლოდ ჭიათურის საბადოა, რომლის აუზშიც შესაბამისად მსოფლიოსა და დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა თანამეგობრობის ქვეყნებში არსებული მანგანუმის მადნების მარაგის 1,8 და 9,5%-ია თავმოყრილი. (ცხრილი 3)

საქართველოს მანგანუმის მადნების რესურსები

საბადოებისა და პერსპექტიული ფართობების დასახელება	მარაგი მლნ. ტ.	პროგნოზული რესურსი მლნ. ტ.	სულ მარაგი და პროგნოზული რესურსი მლნ. ტ.	განლაგების ადმინისტრაციული რაიონი
I. საბადოები:				
ჭიათურის	212,7	32,0	244,7	ჭიათურა
ჩხარი-აჯამეთის	5,0	30,0	35,0	თერჯოლა
ყვირილის დეპრესია	27,0	40,0	67,0	ზესტაფონი
II. პერსპექტიული ფართობები:				
თეთრიწყაროს	–	25,0	25,0	თეთრიწყარო
წყალტუბო-მარტვილი	–	20,0	20,0	წყალტუბო-
აჭარა-თრიალეთის ზონა	–	35,0	35,0	მარტვილი
სულ პერსპექტიულ ფართობზე	–	80,0	80,0	
მთლიანი მარაგი	244,7	262,0	506,7	

ჭიათურის საბადოს ექსპლუატაცია საუკუნეზე მეტია გრძელდება და 250 მილიონ ტონაზე მეტი მადანია მოპოვებული. იმის გამო, რომ ამ ხნის განმავლობაში ძირითადად ოქსიდურ მადნებს ამუშავებდნენ, საგრძნობლად შემცირდა მანგანუმის შემცველობა მადანში, კერძოდ, თუ კი 1934 წელს მანგანუმის საშუალო შემცველობა მადანში 43,5% იყო, ეს მაჩვენებელი 1960 წელს 26,6%-მდე, ხოლო 1990 წელს 18,5%-მდე შემცირდა. 1990 წლის მონაცემებით, ჭიათურის საბადოს მარაგი კვლავაც სოლიდურია და 212,7 მილიონ ტონას შედგენს.

ჭიათურის საბადო უმეტეს წილად ღარიბი მადნებისგან შედგება (მარაგის 75%), მდიდარი ოქსიდური მადნების რაოდენობა კი მხოლოდ 25%-ს აღწევს. ოქსიდური მადნების საერთო მარაგის 11% მაღალი ხარისხის პეროქსიდური მადნებია, რომელშიც მანგანუმი პიროლუზიტის მინერალების სახით გვხვდება. I და II ხარისხის ოქსიდური მადნის კონცენტრატებში მანგანუმი უმეტეს წილად მანგანიტითა (I ხ. 50,2-69,0%; II ხ. 48,2-60,3%) და პიროლუზიტური მინერალებითაა წარმოდგენილი (I ხ. 50,2-58,4%; II ხ. 45,5-49,1%), ზოგიერთ შემთხვევაში ეს კონცენტრატები თითქმის თანაბარი რაოდენობით შეიცავს აღნიშნულ მინერალებს (მანგანიტს 27-37%-ს; პიროლუზიტს 30-38%-ს). ღარიბი მადნების უმეტესი წილი კარბონატულია (კალციუმის როდოქროზიტი, მანგანოკალციტი). ოქსიდური მადნებისგან განსხვავებით, კარბონატული მადნები ნაჭროვნებით, მაღალი სიმტკიცით, ცვეთამდეგობითა და მაღალტემპერატურული მდგრადობით გამოირჩევა. მისი

სიმკვრივე 1,8-2,3 ტ/მ³ ინტერვალში იცვლება. მანგანუმის შემცველობა კარბონატულ მადნებში არაერთგვაროვანია და მოპოვების ადგილის მიხედვით საკმაოდ დიდ დიაპაზონში მერყეობს (10-36%). სტაბილური მუშაობის პერიოდში „ჭიათურმანგანუმში“ წარმოებული კონცენტრატების საერთო რაოდენობამ 1981 წელს 1005,8 ათას ტონას მიაღწია, რომლის 47,2%-ს I ხ-ის (474,4 ათასი ტ.), 18,1%-ს II ხ-ის (182,1 ათასი ტ.) და 13,2%-ს II ხ-ის ოქსიდური კონცენტრატები შეადგენს. კარბონატული კონცენტრატების ხვედრითი წილი ამ პერიოდისათვის 18,9%-ს არ აღემატება. 1986 წლის მონაცემების მიხედვით კი „ჭიათურმანგანუმის“ პროდუქციაში 25,4%-ით იმატა კარბონატული კონცენტრატების რაოდენობამ და 237,8 ათას ტონას მიაღწია, რაც მთლიანი პროდუქციის 24,9%-ს შეადგენს. სანაცვლოდ 27,4 და 5,6%-ით იკლო I და II ხ-ის ოქსიდური კონცენტრატების რაოდენობამ და შესაბამისად 344,5 და 171,8 ათას ტონამდე შემცირდა. საბჭოთა კავშირის დაშლამ და საბაზრო ეკონომიკაზე გადასვლამ უმძიმეს ვითარებაში ჩააყენა „ჭიათურმანგანუმში“. 2000 წელს აღნიშნულმა საწარმომ მხოლოდ 25,3 ათასი ტონა I და II ხ-ის კონცენტრატი გამოუშვა. თუმცა ბოლო წლების მონაცემებით მდგომარეობა მეტ-ნაკლებად დარეგულირდა, კერძოდ, მაღალი ხარისხის კონცენტრატების რაოდენობამ თანდათანობით იმატა და 2003 წელს 93,6 ათას ტონას მიაღწია. „ჭიათურმანგანუმის“ მონაცემებით კონცენტრატების რაოდენობის ზრდის ტემპი უახლოეს პერიოდშიც შენარჩუნდება.

„ჭიათურმანგანუმის“ კონცენტრატების ძირითადი მომხმარებელი გ. ნიკოლაძის სახელობის ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაა, რომელიც საბჭოთა კავშირში წარმოებული მანგანუმიანი ფეროშენადნობების საერთო რაოდენობის 30%-ს ადნობდა და ფოლადისათვის საჭირო მაღალხარისხიანი ფეროშენადნობების მოცულობის 75%-ს აწარმოებდა.

ქარხანაში მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გარდა ქრომიანი და განსაკუთრებული დანიშნულების მქონე შენადნობების ტექნოლოგიებიცაა დამუშავებული და ათვისებული. ოპტიმალური რეჟიმით მუშაობის პერიოდში 1986 წლის მონაცემებით, ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში 369886 ტონა მანგანუმიანი ფეროშენადნობი იქნა მიღებული, რომლის 42,6%-ს (157138 ტ.) სილიკომანგანუმი შეადგენდა, ხოლო 30%-სა (110977 ტ.) და 26,9 %-ს (99677 ტ.) საშუალონახშირბადიანი და ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი. აღნიშნული მონაცემების მსოფლიო მაჩვენებლებთან შედარებით ირკვევა, რომ ამ პერიოდისათვის ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანამ მანგანუმიანი ფეროშენადნობების საერთო მოცულობის (1996 წ.) 4,7% აწარმოა. ნიშანდობლივია აღინიშნოს ისიც, რომ ყოფილ საბჭოთა კავშირში მომუშავე საწარმოებს შორის ზესტაფონის ქარხანა ერთადერთია, რომელიც საშუალონახშირბადიან ფერომანგანუმსა და ელექტროლიტურ მანგანუმს დებულობდა.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანას სრული სიმძლავრით დატვირთვის შემთხვევაში დაახლოებით 450 ათასი ტონა I ხარისხის ოქსიდური კონცენტრატი (Mn

48%) და 350 ათასი ტონა მანგანუმის აგლომერატი (Mn 37%) ესაჭიროება. ჭიათურის საბადოს მადნების კონცენტრატების სიმცირის გამო 1983 წლიდან ქარხანაში საზღვარგარეთიდან მადნების შემოტანა დაიწყო (წელიწადში 200 ათასი ტონის ოდენობით), რითაც შეინარჩუნეს მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მიღების ის ტრადიციული ტექნოლოგია, რომლითაც აღნიშნული საწარმო გამოირჩეული იყო საბჭოთა კავშირის სხვა ქარხნებისაგან. კერძოდ, შენარჩუნებულ იქნა ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის უფლუსო მეთოდი და მიღებული დაბალფოსფორიანი და მაღალმანგანუმიანი წიდეებიდან (Mn 38-42%, P<0,02%) საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოსადნობად საჭირო გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის (P 0,12%) გამოდნობის ტექნოლოგია.

ამჟამად ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანა ყოველწლიურად საშუალოდ 100 ათას ტონა სილიკომანგანუმს ადნობს, რაც 1998 წლის მსოფლიო მაჩვენებლის 3,24%-ს შეადგენს. მიღებული შენადნი მცირე რაოდენობით შეიცავს ფოსფორს, რადგანაც კაზმში ხშირ შემთხვევაში იმპორტულ მადნებს იყენებენ. იმის გამო, რომ ქარხანაში არ ფუნქციონირებს სააგლომერაციო ფაბრიკა და სადნობ აგრეგატს თერმიულად დაუმუშავებელი მანგანუმშემცველი მასალა მიეწოდება, 22,5 მგტ სიმძლავრის რკალური ღუმელის დღე-ღამური წარმადობა 60 ტ-მდე შემცირდა, ხოლო ელექტროენერჯის ხარჯმა 4800 კვტ. სთ-ს გადააჭარბა.

9.3 ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობას ასორციელებენ დიდი სიმძლავრის ელექტრო ღუმელებში. პროცესი ემყარება ნახშირბადით მანგანუმის და რკინის ოქსიდების აღდგენას. აღდგენილი ელემენტების შეერთების ხარჯზე მიიღება ფერომანგანუმი, ხოლო მადანში არსებული ოქსიდებისა და ფლუსის შედნობით კი წიდა. პროცესი არის უწყვეტი, ხოლო ღუმელიდან ლითონისა და წიდის გამოშვება პერიოდული.

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა ბრძმედის ღუმელშიცაა შესაძლებელი, თუმცა იგი არაეკონომიურია კოქსის გაზრდილი ხარჯის გამო.

ელექტროთერმული ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა რუსეთისა (**ГОСТ 4755-80**) და უკრაინის (**ГОСТ 3547-97**) სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით მოცემულია 1 და 2 ცხრილში.

ცხრილი 1

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მარკები და ქიმიური შედგენილობა, %

მარკა	Mn არა ნაკლები	C	Si	P	S
		არა უმეტესი			
Φ Mn 78A	78-82	7	2	0,05	0,03
Φ Mn 78K	78-82	7	1	0,35	0,03
Φ Mn 78	78-82	7	2	0,35	0,03
Φ Mn 75AC6	75	7	6	0,05	0,03
Φ Mn 75 C4	75	7	4	0,45	0,03
Φ Mn 75C9	75	6	9	0,45	0,03
Φ Mn 75	75	7	1	0,45	0,03
Φ Mn 70	70	7	6	0,6	0,03

ცხრილი 2

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მარკები და ქიმ. შედგენილობა, %

მარკა	Mn	C მაქს.	Si მაქს.	P მაქს.	S მაქს.
Φ Mn 78 A	75-82	7,0	6,0	0,10	0,03
Φ Mn 78 B	75-82	7,0	6,0	0,70	0,03

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოსადნობად იყენებენ როგორც სწორკუთხა ისე მრგვალი ტიპის ელექტრორკალურ ღუმელებს.

ქვემოთ მოცემულია სწორკუთხა (**PII3-63**) და მრგვალი აბაზანის მქონე ელექტროლუმელების ტექნიკური მახასიათებლები.

	PII3-63	PKF-81
ლუმენის ტრანსფორმატორის სიმძლავრე, კ.ვ.ა.	6300 (3 X 2100)	81000 (3 X 27000)
მაღალი მხარის ძაბვა, ვ	154000	154000
მეორადი ძაბვის ზღვარი, ვ	238,5-137,0	340-180
ფაზაზე დენის მაქსიმალური ძალა, ა	112000	160000
სიმძლავრის კოეფიციენტი	0,91	0,91
ელექტროდის ზომები, მმ	300x750	დიამეტრი 2000
ელექტროდებს შორის მანძილი, მმ	3300	4300
ელექტროდების გადაადგილების საშუალო სიჩქარე, მ/წთ	0,5	2
სადნობი სივრცის ზომები, მმ	1200	1600
სიგრძე	20340	15000
სიგანე	6000	-----
სიმაღლე	3190	7300
გამოსაშვები ხვრელის რა-ბა (კრიჭა)	3	2

PII3-63 ელექტროლუმენის ტრანსფორმატორი 23 საფეხურიანია.

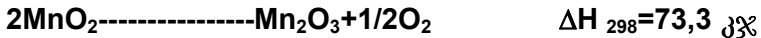
PKF-81 ლუმენის ოპტიმალური აქტიური სიმძლავრე 45-47 მეგ-ს შეადგენს. მრგვალი ლუმენის მუშაობის მაღალი მაჩვენებლის მიღწევა შესაძლებელია იმ

შემთხვევაში, როდესაც კაზმი $\leq 14\%$ SiO_2 -ის შემცველობის მქონე 20-100 მმ სიმახის მანგანუმის აგლომერატსა და 10-30 მმ ფრაქციის მანგანუმის კონცენტრატს შეიცავს, რომელშიც SiO_2 -ის შემცველობა არ აღემატება 12 %-ს.

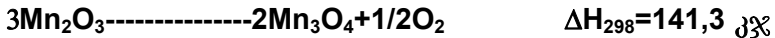
ღუმელი ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურებითა და ნახშირის ბლოკებით. ელექტროდები არის თვითცხობადი, რაც ტექნოლოგიური პროცესის უწყვეტობას უზრუნველყოფს.

ღუმელში მოხვედრილი კაზმი მანგანუმს სხვადასხვა ოქსიდების სახით შეიცავს: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 და MnO . გახურებისას მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად დისოცირდებიან. პროცესი ენდოთერმულია და სითბოს შთანთქმასთანაა დაკავშირებული.

424⁰C

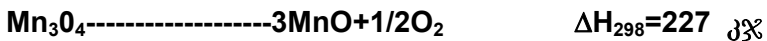


877⁰C



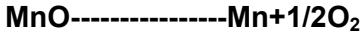
Mn_3O_4 და MnO -ს დისოციაცია მაღალ ტემპერატურაზეა შესაძლებელი,

1200⁰C



1400⁰C

3000°C



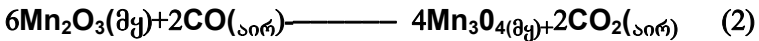
ΔH₂₉₈=387 კჯ

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად აღსდგება ნახშირბადის მონოოქსიდით



lgK₁=-----
P²co₂
P²co

227°C- ზე lgK₁(ატმ) აღწევს 45,8-ს.



lgK₂=-----
P²co₂
P²co

527⁰ C-ტემპერატურაზე lgK₂(ატმ)=22,81

K₁და K₂ მაღალი მნიშვნელობა მიუთითებს იმაზე, რომ ეს რეაქციები ფაქტიურად შეუქცევადია. ამასთან მე-2 რეაქცია განვითარებას იწყებს 200⁰C ტემპერატურაზე .

მანგანუმიანი ფეროშენადნობების გამოდნობისას, როდესაც საკერძე აირი 65%-ის ფარგლებში შეიცავს CO-ს, 1 და 2 რეაქცია ფაქტიურად ღუმელის ზედა ზონებშიც იწყებს განვითარებას.

Mn₃O₄-ის CO-თი აღდგენა გაცილებით რთულად მიმდინარეობს:



$$\lg K_3 = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}}$$

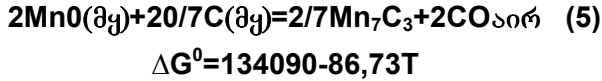
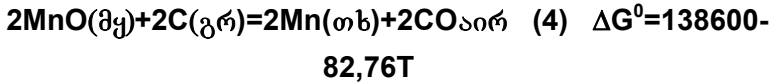
700⁰C- ზე **lgK₃=2,374**

1, 2 და 3 რეაქცია არის ეგზოთერმული, ამიტომ ტემპერატურის მომატებით აირად ფაზაში **CO₂**-ის წონასწორული შედგენილობა ეცემა, ხოლო **CO**-ს რაოდენობა კი იზრდება.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ **Fe₃O₄** გაცილებით რთულად აღდგება ვიდრე **Mn₃O₄**. მაგალითად, **Fe₃O₄-CO-FeO-CO₂** სისტემაში 700⁰-ზე **CO**-ს წონასწორული შემცველობა 35,3%-ს შეადგენს, ხოლო ანალოგიური მაჩვენებელი **Mn₃O₄-CO-MnO-CO₂** სისტემაში კი მხოლოდ 6,1%-ია.

მანგანუმის მაღალი ოქსიდები (**MnO₂, Mn₂O₃ და Mn₃O₄**) იოლად აღსდგება მყარი ნახშირბადით შედარებით დაბალ ტემპერატურაზეც კი.

ნიშანდობლივია აღინიშნოს, რომ მანგანუმის მონოოქსიდიდან (**MnO**) მანგანუმის აღდგენა **CO**-თი შეუძლებელია, მისი აღდგენა მხოლოდ მყარი ნახშირბადითაა შესაძლებელი;



$$\Delta G^{\circ} \\ \lg K_p = - \text{-----} \\ 4,57T$$

გამოსახულებაში ჯიბსის ენერჯის ცვლილების მნიშვნელობის ჩასმითა და $P_{\text{CO}}=1$ ატმ პირობის დაშვებით შეიძლება განვსაზღვროთ მე-4 და მე-5 რეაქციის დაწყების ტემპერატურა, $T_4(\text{დაწ})=1401^{\circ}\text{C}$, ხოლო $T_5(\text{დაწ})=1279^{\circ}\text{C}$.

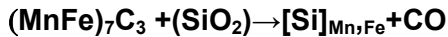
კარბილამდე მანგანუმის აღდგენის საწყისი თეორიული ტემპერატურა შემდეგი გამოსახულებიდანაც შეიძლება ვიანგარიშოთ:



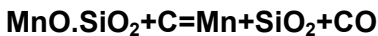
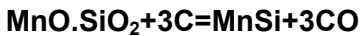
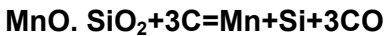
როცა $\Delta G^{\circ}_T=0$, მე-6 რეაქციის დაწყების ტემპერატურა ტოლი იქნება 1597K (1324°C)-ის. თერმოდინამიკური მოსაზრებიდან გამომდინარე, MnO -დან აღდგენისას უპირატესობა მე-5 და მე-6 რეაქციის განვითარებას უნდა მიენიჭოს, თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ ტემპერატურის მომატებით მანგანუმის კარბიდების წარმოქმნის ინტენსივობაც იზრდება, გამოდის რომ

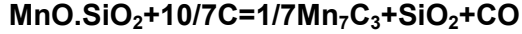
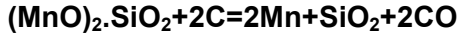
შენადნი უმეტეს წილად მანგანუმის კარბიდებს შეიცავს **[Mn₇C₃, Mn₃C (Mn,Fe)₇C₃]**.

რამდენადაც ფერომანგანუმის დნობისა და ადღგენის ტემპერატურები ერთმანეთთანაა მიახლოებული, ამდენად ნახშირბადით გაჯერებული ლითონის წვეთები რომელიც იღექება ღუმელის ქვედზე, ურთიერთქმედებს კოქსთან და წილის ნაღლობთან, რასაც შედეგად მოჰყვება კაზში არსებული სილიციუმის ადღგენა.



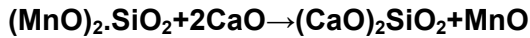
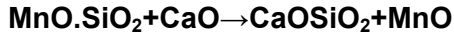
იმის გათვალისწინებით, რომ 1200-1300°C ტემპერატურულ ინტერვალში მანგანუმის მონოოქსიდი **(MnO)** ინტენსიურად რეაგირებს კაჟმიწასთან **(SiO₂)**, წარმოიქმნება თხევადი სილიკატური ნაერთი როდონიტი **(MnO.SiO₂)** და ტეფროიტი **[(MnO)₂.SiO₂]**, ამიტომაც თხევადი ფაზის გამოჩენისას მანგანუმის ადღგენა ამ სილიკატური ნაერთებიდან მიმდინარეობს. ადღგენის რეაქციებს შემდეგი სახე შეიძლება ჰქონდეს:





სილიკატური ფაზის წარმოქმნა, გარკვეულ წილად აფერხებს მანგანუმის აღდგენას, თუმცა 1500-1600°C ტემპერატურულ ინტერვალში სილიკატური ნაერთებიდან მანგანუმი პრაქტიკულად მთლიანად აღდგება. ამასთან 1500°C-ზე ტეფროიტიდან უფრო იოლად მიმდინარეობს აღდგენა, ვიდრე როდონიტიდან.

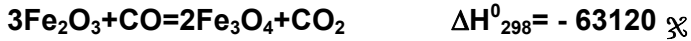
ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას კაზმში **CaO**-სა და **MgO**-ს არსებობა საგრძნობლად აიოლებს სილიკატური ნაერთებიდან მანგანუმის აღდგენის პროცესს (**MnO**-ს აქტიურობის გაზრდის ხარჯზე).



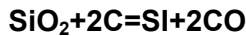
სილიკატებიდან გამონთავისუფლებული **MnO**-ს აღდგენა მყარი ნახშირბადით ზემოაღნიშნული რეაქციების შესაბამისად განხორციელდება.

მანგანუმის აღდგენასთან ერთად, თითქმის მთლიანად აღსდგება კაზმში არსებული რკინა და გადადის შენადნში. რკინის ოქსიდების აღდგენა შეიძლება განხორციელდეს, როგორც აირადი აღმდგენელით (**CO**), ისე მყარი ნახშირბადით:

570°C-ზე მაღლა

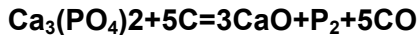


ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოღობისას მცირე, რაოდენობით აღდგება კაზმში არსებული სილიციუმი

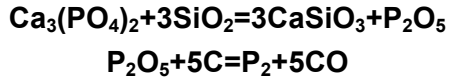


და 70-80% ფოსფორი.

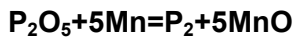
ფოსფორის აღდგენა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



ეს რეაქცია 1000°C-ზე ზემოთ მყარ ფაზაშიც იწვევს განვითარებას. ნიშანდობლივია აღინიშნოს, ისიც რომ ფოსფორის აღდგენის პროცესს აუმჯობესებს კაზმში კაჟმიწის არსებობა, კალციუმის ფოსფატიდან P_2O_5 -ს გამოდგენის ხარჯზე.



ამ შემთხვევაში ფოსფორის აღდგენა 900°C -ის ფარგლებშიც მიმდინარეობს. თხევადი ნაღვლიდან ფოსფორის აღდგენა ასევე შესაძლებელია განხორციელდეს მანგანუმითაც:



იმის გათვალისწინებით, რომ MnS მცირედ იხსნება შენადნში, გოგირდის შემცველობა ნახშირბადიან ფერომანგანუმში 0,03%-ს არ აღემატება.

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოღობის ორი მეთოდი არსებობს, უფლუსო და ფლუსიანი. პირველი მეთოდი ორ საფეხურია, ხოლო მეორე ერთსაფეხურიანი. უფლუსო მეთოდი ეკონომიკური თვალსაზრისით გაცილებით იაფია ფლუსიანთან შედარებით.

უფლუსო მეთოდით გამოღობისას ლითონთან ერთად მიიღება მაღალმანგანუმიანი (**Mn≈38%**) და დაბალფოსფორიანი (**p≤0,02%**) გადასამუშავებელი წიდა, რომელსაც დაბალფოსფორიანი სილიკომანგანუმის გამოსაღობად იყენებენ.

ამ შემთხვევაში იზრდება მანგანუმის საბოლოო ამოკრეფა და მცირდება საკაზმე მასალების ხარჯი.

ფლუსიანი მეთოდით გამოღობისას კი კაზმში დამატებით შეჰყავთ კირი ან კირქვა, რითაც ზრდიან წიდის ფუძიანობას და ცდილობენ ლითონში მანგანუმის

მაქსიმალურ ამოკრეფას. ამ დროს მიღებული წიდა მანგანუმით ღარიბია (**MnO 10-14%; SiO₂ 31%; CaO 41% ; MgO 1,8%; Al₂O₃ 1,3%, CaO/SiO₂ 1,0-1,2**) და შემდგომი გადამუშავებისთვის უვარგისი.

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის ძირითადი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის ძირითადი ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები

დასახელება	მეთოდი	
	ფლუსიანი	უფლუსო
ხარჯები, კგ/ბ.ტ		
მანგანუმშემცველი ნედლეული (48% Mn)	2060	2971
კოქსი	580	415
რკინის გუნდა	110	85
კირქვა	700	–
ელექტროდების მასა	21	22,4
ელ.ენერგია, კვტ.სთ/ბ.ტ.	4290	3498
Mn -ის შემცველობა წიდაში, %	14,2	35,8
წიდას ჯერადობა	1,2	0,88
მანგანუმის ამოკრეფა, %	78-82	60-62

უფლუსო მეთოდით გამოდნობისას გამოიყენება მანგანუმით მდიდარი კონცენტრატები, მაშინ როდესაც ფლუსიან პროცესში გარკვეულ წილად ღარიბი მანგანუმშემცველი მასალებიც შეიძლება იქნეს გამოყენებული.

ნახ. ფერომანგანუმის გამოდნობის უფლუსო მეთოდი კარგად იქნა ათვისებული ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში, რომლის წიდასაც (**Mn 37-42%, SiO₂ 29-31%, CaO 7-8%, FeO 1% Al₂O₃ 6-8% MgO 2%, C-0,3-0,5% , S 1,2-1,5%, P 0,01-0,02%,** ჯერადობა **1,2**) წარმატებით იყენებენ დაბალფოსფორიანი სილიკომანგანუმის გამოსადნობად.

ზ.ფ.ქ.-ში ელემენტების გადანაწილება ლითონურ, წიღურ და აირად ფაზაში მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

ელემენტების განაწილება, % (უფლუსო მეთოდი)

ელემენტი	გადადის, %		
	ლითონში	წიდაში	აირად ფაზაში
Mn	60 - 62	28 - 30	10
Si	8 - 10	90 - 92	—
Fe	95	5	—
P	70	3 - 5	25 - 27
S	1	60	39

წილის გამოყენების შემდეგ მანგანუმის საბოლოო ამოკრეფა ლითონში უფლუსო მეთოდით გამოდნობისას შეადგენს 83%-ს, ე.ი. 8-10%-ით მეტს ვიდრე ფლუსიანის შემთხვევაში. ამიტომ მანგანუმით მდიდარი კონცენტრატების გამოყენებისას უმჯობესია ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი გამოდნეს უფლუსო მეთოდით, ხოლო კარბონატული და სხვა ლარიბი ოქსიდური მადნების გამოყენების შემთხვევაში კი ფლუსიანით.

ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობისას ლითონისა და წიდას ორი საათის ინტერვალით ერთდროულად უშვებენ ღუმელიდან კასკადურად განლაგებულ ციციხეებში, ლითონის ჩამოსხმას ახდენენ საჩამოსხმო მანქანაზე.

9.4 ფეროსილიკომანგანუმის (სილიკომანგანუმის) გამოდნობის ტექნოლოგია

სილიკომანგანუმი, როგორც განმუხანგველი და მალეგირებელი დანამატი ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიაში სხვადასხვა ხარისხის ფოლადის მისაღებად. გარდა ამისა მას იყენებენ როგორც აღმდგენელს რაფინირებული მანგანუმიანი შენადნობების წარმოებაში. სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობა არანაკლები 60%-ია, ხოლო სილიციუმის რაოდენობა 10-დან 35%-მდე მერყეობს.

სილიკომანგანუმის მარკები და მათი ქიმიური შედგენილობა უკრაინისა და რუსეთის სახელმწიფო

სტანდარტების მიხედვით მოცემულია პირველ და მეორე ცხრილში:

ცხრილი №1

სილიკომანგანუმის ქიმიური შემცველობა

მარკა	ელემენტის რაოდენობა, %					
	Si	Mn არანაკლები	C	P		S
				A	B	
				არა უმეტეს		
MnC 25	25-დან 35,0-ის ჩათვლით	60,0	0,5	0,05	0,25	0,03
MnC 22	20-დან 25,0-ის ჩათვლით	65,0	1,0	0,10	0,35	0,03
MnC 17	15-დან 20,0-ის ჩათვლით	65,0	2,5	0,10	0,60	0,03
MnC 12	10-დან 15,0-ის ჩათვლით	65,0	3,5	0,20	0,60	0,03

Mn-მანგანუმი, C-სილიციუმი.

ყოფილ საბჭოთა კავშირში სილიკომანგანუმს სამი მსხვილი ქარხანა აწარმოებდა, ნიკოპოლის, ზაპოროჟიისა და ზესტაფონის.

სილიკომანგანუმის ქიმიური შემცველობა, %

მ ა რ კ ა	ელემენტების რაოდენობა, %				
	Si	Mn არა ნაკლები	C	P	S
			არა უმეტეს		
CMn26	≥26,0	60	0,2	0,05	0,03
CMn20	20,0-25,9	65	1,0	0,10	0,03
CMn20P	20,0-25,9	65	1,0	0,25	0,03
CMn17	17,0-19,9	65	1,7	0,10	0,03
CMn17P	17,0-19,9	65	1,7	0,35	0,03
CMn14	14,0-16,9	65	2,5	0,25	0,03
CMn14P	14,0-16,9	65	2,5	0,35	0,03
CMn10	10,0-13,9	65	3,5	0,35	0,03

ფოსფორის შემცველობის მიხედვით სილიკომანგანუმი A და B ჯგუფებად იყოფა, ხოლო ნაჭროვნების (სიმსხო) მიხედვით კი 5 კლასად.

ლითონში ნახშირბადის რაოდენობის ცვლილებაზე დიდ გავლენას ახდენს სილიციუმის შემცველობა, რაც უფრო იზრდება სილიციუმის შემცველობა შენადნობში მით უფრო მცირდება მასში ნახშირბადის ხსნადობა. აღნიშნული გამოწვეულია იმით, რომ **Mn-Si** კავშირი გაცილებით უფრო მდგრადია **Mn-C** კავშირთან შედარებით. დაბალფოსფორიან სილიკომანგანუმს, რომელსაც რაფინირებული მანგანუმიანი შენადნობების მისაღებად იყენებენ, გადასამუშავებელს უწოდებენ.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტრადიციული ტექნოლოგიური ციკლი არსებობს. კერძოდ, საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგია კაზმში დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის ($P \leq 0,12\%$) გამოყენებას ითვალისწინებს, გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის წარმოება თავის მხრივ დაბალფოსფორიანი ($P \leq 0,02\%$) და მაღალმანგანუმიანი ($Mn \ 32-42\%$) წილების გამოყენებას ემყარება, რასაც ზ.ფ.ქ-ში ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო და საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის ნახევრადფლუსიანი დნობის მეთოდებით აღწევენ. აღნიშნული მეთოდებით დნობის განხორციელება თავის მხრივ კაზმში მანგანუმის მაღალი ხარისხის დეფიციტური ოქსიდური კონცენტრატების გამოყენებას ითვალისწინებს.

სილიკომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგიური პროცესი არის უწყვეტი. მისი მიღება ხორციელდება დიდი სიმძლავრის სამფაზა სწორკუთხა და მრგვალი ტიპის ელექტრორკალურ ღუმელებში (10,0-16,5-63-75 მვა), სადაც გამოყენებულია თვითცხოვადი ნახშირის ელექტროდები. ღუმელის ქვედი და კედლები ამოგებულია ნახშირის ბლოკებით.

საკაზმე მასალებად გამოიყენება მანგანუმშემცველი პროდუქტი (მანგანუმის კონცენტრატი), კვარციტი, კოქსწვრილა, საჭიროების შემთხვევაში კირქვა ან დოლომიტი. სილიკომანგანუმში ფოსფორის შემცველობის შემცირების მიზნით, კაზმში იყენებენ დაბალფოსფორიან

გადასამუშავებელ წილებს ან მცირე ფოსფორიან საზღვარგარეთულ მადნებს (ავსტრალია, გაბონი, განა...)

კაჟმიწაშემცველ მასალად გამოიყენება 25-80 მმ სიმსხოს მქონე კვარციტი (**SiO₂ >95%** , **Al₂O₃ <1,8%**). საჭირო ფუძიანობის მისაღწევად და წილების ჩამოსაყალიბებლად კაჟმში კირქვასაც ამატებენ (იმ ანგარიშით, რომ **(CaO+MnO)%>51,5%**). კოქსის რაოდენობა ისე უნდა შეირჩეს, რომ **PII3-63** ღუმელისათვის **C_{აჟ}/Mn** კაჟმში 0,38-0,47 ზღვარში იცვლებოდეს, ხოლო **PK3-75** ტიპის ღუმელისათვის კი 0,38-0,4 დიაპაზონში მერყეობდეს.

სილიკომანგანუმის გამოღობისას კაჟმის მიწოდება ღუმელში უნდა იყოს თანაბარი, თაღის ქვეშ საკერძე აირის წნევა **PII3-63** ტიპის ღუმელისათვის 1-3 პა-ს უნდა შეადგენდეს, ხოლო **PKI-75** ღუმელისათვის კი 20-50 პა-ს. ამასთან თაღქვეშა აირის ტემპერატურა ამ ღუმელებისათვის შესაბამისად არ უნდა იყოს 400 და 200⁰C-ზე მეტი. საკერძე აირში (რომელიც 85%-მდე **CO**-შეიცავს), ჟანგბადისა და წყალბადის შემცველობა 10 და 8%-ს არ უნდა აღემატებოდეს.

სილიკომანგანუმში ფოსფორის შემცველობის შემცირების მიზნით, კაჟმში სხვადასხვა რაოდენობის დაბალფოსფორიან მანგანუმშემცველ მასალებს იყენებენ (ცხრილი 3).

(ცხრილი 3)

სხვადასხვა ფოსფორშემცველი სილიკომანგანუმის
კაზმის შედგენილობა, კგ

კაზმის კომპონენტები	ფოსფორის შემცველობა სილიკომანგანუმში, %				
	0,15	0,25	0,35	0,50	0,60
აგლომერატი AMHB--2	–	500	940	1370	1660
დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდა (ШМП)	900	730	360	180	–
მანგანუმის მადანი (ავსტრალია)	680	400	340	140	–
კოქსი	310	310	320	320	320
კვარციტი	250	260	260	260	260
კირქვა	60	–	–	–	–
რკინის გუნდა	55	65	50	50	50
მანგანუმის მეორადი ნედლეული (ნარჩენები)	200	300	300	400	400

ნიშანდობლივია აღინიშნოს, რომ სილიკომანგანუმში ფოსფორის შემცირებით (დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდის ხარჯის გაზრდით) საგრძნობლად მატულობს ელექტროენერჯის ხარჯი, წიდის ჯერადობა და ეცემა მანგანუმის ამოკრეფა (ცხრილი 4)

სხვადასხვა ფოსფორშემცველი სილიკომანგანუმის
გამოდნობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

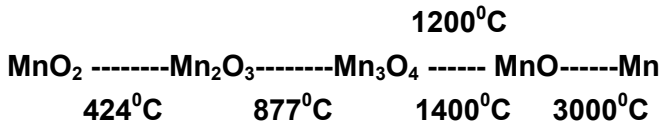
მონაცემები	ფოსფორის შემცველობა, %			
	0,20	0,35	0,50	0,60
ხვედრითი ხარჯი, კგ/ტ –მანგანუმის ნედლეული (48%Mn)	1843	1728	1700	1674
–კოქსი	415	425	410	395
–კვარციტი	285	333	305	294
–კირქვა	100	–	–	–
–ნარჩენები	163	234	251	217
–მანგანუმის მეორადი ნედლეული	–	208	194	153
–ელექტროდების მასა	28,5	24,6	24,2	24,0
ელექტროენერგია, კვტ.სთ/ტ	4191	4088	3930	3840
მანგანუმის შემცველობა წიდაში, %	11,7	12,4	12,6	12,5
წილის ჯერადობა	1,6	1,5	1,4	1,3
ამოკრეფა	75,26	79,9	81,5	82,2

სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესი ემყარება ნახშირბადით მანგანუმის და სილიციუმის ერთდროულ აღდგენას.

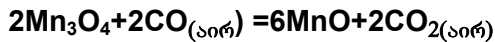
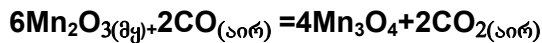
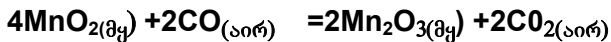
ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მსგავსად, სილიკო-მანგანუმის გამოსადნობად განკუთვნილი კაზმიც მანგა-

ნუმს სხვადასხვა ოქსიდებისა და მინერალების სახით შეიცავს: პიროლუზიტი (MnO_2), ფსილომელანი ($\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), მანგანიტი ($\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$), ბრაონიტი (Mn_2O_3), ჰაუსმანიტი (Mn_3O_4), ტეფროიტი ($2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$) და სხვა.

ღუმელში მოხვედრილი მანგანუმის ოქსიდები დისოცირდებიან (იხ. ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღება) შემდეგი სქემის მიხედვით:



მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად აღსდგებიან CO -საშუალებით:



$$500\text{K-ზე } \lg K_{\text{MnO}_2} = 45,8$$

Mn_2O_3 -დან აღდგენა უფრო რთულად მიმდინარეობს ვიდრე MnO_2 -დან, თუმცა 800 K-ზე

$$\lg K_{\text{Mn}_2\text{O}_3} = 22,81$$

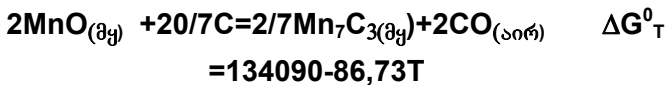
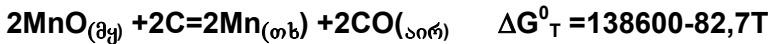
კიდევ უფრო ჭირს Mn_3O_4 -დან აღდგენა, ამ შემთხვევაში

$$\lg K_{\text{Mn}_3\text{O}_4} = 2,374$$

მანგანუმის ოქსიდები (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4) 200-300°C ტემპერატურულ ინტერვალში ადვილად აღსდგება მყარი ნახშირბადით (იხ. ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა).

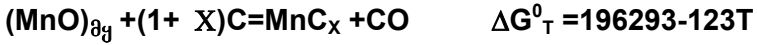
უნდა აღინიშნოს, რომ წვრილფრაქციული კაზმის შემთხვევაში 600-800°C ტემპერატურაზე მანგანუმის მაღალი ოქსიდები ადვილად აღსდგება MnO -მდე ლუმელის ზედა ჰორიზონტში, თუმცა ნატეხოვანი კაზმის არსებობისას თავს იჩენს დიფუზიური სიძნეელები და MnO -მდე აღდგენა მხოლოდ ლუმელის ქვედა ჰორიზონტშია შესაძლებელი.

მანგანუმის მაღალი ოქსიდებისაგან განსხვავებით MnO -ს აღდგენა მხოლოდ მყარი ნახშირბადითაა შესაძლებელი:



ამ რეაქციების დაწყების ტემპერატურა შესაბამისად შეადგენს 1401 და 1279°C-ს.

კარბიდამდე მანგანუმის აღდგენის საწყისი თეორიული ტემპერატურა შემდეგი გამოსახულებიდანაც შეიძლება ვიანგარიშოთ:



196293

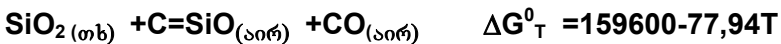
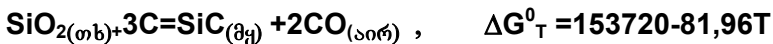
$$\text{როცა } \Delta G^0_T = 0 \quad T_{ლაწყ} = \frac{\text{-----}}{123} = 1597K(1324^{\circ}C)$$

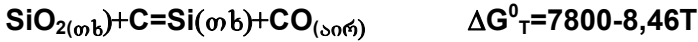
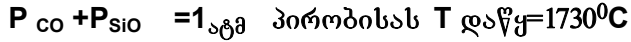
ნიშანდობლივია აღინიშნოს, რომ კაზში რკინის არსებობა მკვეთრად აუმჯობესებს ოქსიდებიდან მანგანუმის აღდგენის პროცესს.

მანგანუმის აღდგენასთან ერთად ასევე აღდგება კვარციტში, მადანსა და კოქსწვრილას ნაცარში არსებული სილიციუმი. დადგენილია, რომ კაჟივიდან სილიციუმის აღდგენის პროცესში მიიღება შუალედური პროდუქტი--კარბორუნდი (SiC) .და ადვილადაქროლადი სილიციუმის მონოოქსიდი (SiO).



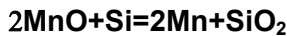
$$\text{როცა } P_{co} = 1_{ატმ} \quad T_{ლაწყ} = 1690^{\circ}C$$





ზემოაღნიშნული რეაქციებით მანგანუმისა და სილიციუმის აღდგენას ართულებს $1200^{\circ}C$ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი სილიკატები ტეფროიტი (MnO)₂SiO₂) და როდონიტი (MnO.SiO₂).

აუცილებელია აღინიშნოს, ისიც რომ აღდგენილი მანგანუმი სილიციუმის მიმართ დამლექის ფუნქციას ასრულებს, რითაც აუმჯობესებს სილიციუმის აღდგენის პროცესს. თავის მხრივ აღდგენილი სილიციუმი მანგანუმის მონოოქსიდთანაც რეაგირებს:



წონასწორობის მიღწევის ეს რეაქცია სილიკო-მანგანუმის შედგენილობასა და წიდაში მანგანუმის შემცველობას განსაზღვრავს. წონასწორობის მუდმივას ამ რეაქციისათვის შემდეგი სახე ექნება:

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

ამ გამოსახულებიდან

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

წონასწორობის მუდმივას გამოსახულებიდან

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

გამომდინარე

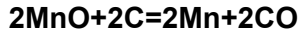
$$(\text{MnO})^2 = \frac{[\text{Mn}]^2 \cdot (\text{SiO}_2)}{K_{\text{SiMn}} [\text{Si}]}$$

ე.ი. წილაში მანგანუმის რაოდენობა ლითონში სილიციუმის შემცველობაზეა დამოკიდებული. კერძოდ, რაც უფრო დიდი პროცენტული რაოდენობითაა ლითონში სილიციუმი, მით უფრო მცირეა მანგანუმის რაოდენობა წილაში. [მიუხედავად იმისა, რომ მანგანუმის აღდგენა უმეტეს წილად ნახშირბადის მეშვეობით ხორციელდება]. აღნიშნულს სტატისტიკური მონაცემებიც ადასტურებს.

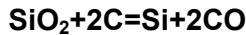
კერძოდ, გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის (30% სილიციუმი) წილა 5% მანგანუმს შეიცავს, ხოლო

სასაქონლო სილიკომანგანუმის (სილიციუმი 17%) წილაში კი მანგანუმის რაოდენობა 16-20% აღწევს.

MnO-Mn-SiO₂-Si-C სისტემაში წონასწორობა მყარდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც წონასწორობაში მოვა შემდეგი რეაქციები:



$$K_{\text{Mn}} = \frac{[\text{Mn}]^2 \cdot P^2_{\text{CO}}}{(\text{MnO})^2 [\text{C}]^2}$$



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

ამ რეაქციების წონასწორობისას აუცილებელია დამყარდეს წონასწორობა როგორც მათ შორის ასევე მანგანუმის სილიციუმით აღდგენის რეაქციას შორის. აღნიშნული მარტივი გარდაქმნითაც დასტურდება:

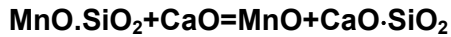
$$P^2_{\text{CO}} = \frac{K_{\text{Mn}} [\text{C}]^2 (\text{MnO})^2}{[\text{Mn}]^2} = \frac{K_{\text{Si}} (\text{SiO}_2) \cdot [\text{C}]^2}{[\text{Si}]}$$

აქედან

$$\frac{K_{Mn}}{K_{Si}} = \frac{[Mn]^2 (SiO_2)}{(MnO)^2 [Si]}$$

მიღებული გამოსახულება იდენტურია K_{Si-Mn} წონასწორობის გამოსახულების .

მანგანუმის აღდგენაზე სილიკატური ნაერთების უარყოფითი ზეგავლენის შესამცირებლად კაზმში შეჰყავთ დოლომიტი ან კირქვა, რითაც ზრდიან **MnO**-ს აქტიობას:



აუცილებელია აღინიშნოს ისიც რომ მხოლოდ **MnO**-ს აქტიურობის გაზრდის თვალსაზრისით კაზმში ფლუსის ზომაზე მეტი რაოდენობა შეაფერხებს სილიციუმის აღდგენის პროცესს. დადგენილია, რომ 0,4-0,5 წილის ფუძიანობის **CaO+MgO** შემთხვევაში

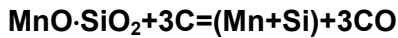


ლითონში **Si**-ის 17% შემცველობისას, მანგანუმის გამოსავალი 3-8%-ით იზრდება, ხოლო წილის ფუძიანობის 1-მდე გაზრდით კი სილიციუმის რაოდენობა ლითონში მკვეთრად ეცემა.

ზემოაღნიშნული თერმოდინამიკური მონაცემებით მანგანუმის აღდგენა 1310-1420⁰C ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარეობს, ხოლო სილიციუმის 1690⁰C-ზე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ **MnO-SiO₂** ოქსიდურ

სისტემაში მანგანუმი უფრო იოლად აღდგება ვიდრე სილიციუმი. აღნიშნულს პრაქტიკული შედეგებიც ადასტურებს.

ექსპერიმენტული გამოკვლევებით დადგინდა, რომ მანგანუმის სილიკატებიდან ჯერ ტეფროიტი აღდგება, ხოლო შემდეგ როდონიტი



გასათვალისწინებელია, რომ კაზმში ერთეულ მანგანუმზე მოსული კაჟმიწის დიდი რაოდენობა და სილიკატების არსებობა აფერხებს მანგანუმისა და სილიციუმის აღდგენის პროცესს.

ნიშანდობლივია, ისიც რომ 1400-1600°C ტემპურატურულ ინტერვალში კაზმში ტუტემიწა ლითონების (**Na₂O**, **K₂O**) განსაზღვრული რაოდენობა ამცირებს წიდის სიბლანტეს და აჩქარებს აღდგენის პროცესებს. ამიტომ რეკომენდირებულია სილიკომანგანუმის გამოდნობისას კაზმში გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა სახის ტუტე მიწა ლითონების შემცველი მასალები (პეგმატიტი, ნახშირის გამდიდრების ნარჩენები, ტუფი, ტრაქიტი, და ა.შ)

CMn17 მარკის გამოდნობისას მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში 72-75% -ს შეადგენს, სილიციუმის 40-45%, ხოლო ფოსფორის 80-85% (იხ. ცხრ. 4)

ცხრილი 4

ელემენტების განაწილება სილიკომანგანუმის
გამოდნობისას

ელემენტი	გადადის,%		
	ლითონში	წიდაში	ორთქლდება
Mn	75	17	8
Si	40	50	10
P	80	4	16

ლითონსა და წიდას ღუმელიდან უშვებენ ორი საათის ინტერვალით კასკადურად განლაგებულ ციციხეებში. ლითონის ჩამოსხმას ახდენენ საჩამოსხმო მანქანაზე. მიღებული წიდა (**Mn 13-15%, SiO₂ 47-40%, CaO 12-13%, Al₂O₃ 5-7%, MgO 2,9-3,1%, FeO 0,4-0,7%** , ფუძიანობა **0,34-0,6**, ჯერადობა **0,6-1,5**) მანგანუმის დაბალი შემცველობის გამო გამოუსადეგარია შემდგომი მეტალურგიული გადამუშავებისათვის. თუმცა უნდა აღინიშნოს, ისიც რომ მანგანუმის ამოკრეფის გაზრდის მიზნით სილიკომანგანუმის კაზში ამ წიდებსაც იყენებენ. უკრაინელი სპეციალისტების მიერ, შემოთავაზებულია სილიკომანგანუმის გამოდნობის ორსაფეხურიანი მეთოდი, რომლის პირველი ეტაპი ფოსფორით სტანდარტული ლითონის მიღებას ითვალისწინებს, ხოლო მეორე ეტაპი კი კაზში მანგანუმშემცველ ერთ-ერთ მასალად დნობის პირველ ეტაპზე მიღებული გრანულირებული დამსხვრეული წიდის გამოყენებას. პროცესის ნორმალური მსვლელობისათვის სასურველია კაზში

წიდა აღმდგენელთან ერთად, წინასწარი დაბრიკეტების შემდეგ იქნეს გამოყენებული.

9.5 ლითონური მანგანუმის მიღების ტექნოლოგია ელექტროგამტარული მეთოდით

ტექნიკურად სუფთა მანგანუმს (95-99,8% Mn) ლითონურს უწოდებენ და მის მიღებას ელექტრო-სილიკოთერმული და ელექტროლიტური მეთოდებით ახდენენ. ზოგიერთ ქვეყანაში ლითონურ მანგანუმს ალუმინოთერმული პროცესითაც აწარმოებენ. ლითონური მანგანუმის შედგენლობა მოცემულია პირველ ცხრილში.

Mn₉₉₈ და **Mn₉₉₇** მარკებს ელექტროლიტური გზით დებულობენ, ხოლო **Mn₉₆₅** და **Mn₉₅**-ს სილიკოთერმულით.

ცხრილი 1

ლითონური მანგანუმის ქიმ.შედგენილობა % (ГОСТ 6008 - 10)

მარკა	მიღების მეთოდი	Mn არა ნაკლები	C	Si	P	S
			არა უმეტეს			
Mn 988	ელექტრო-ლიტური	99,8	0,04	–	0,003	0,003
Mn 997		99,7	0,06	–	0,05	0,10
Mn 965	ელექტრო-თერმული	96,5	0,10	0,8	0,05	0,05
Mn 95		95,0	0,20	1,8	0,07	0,05

სილიკოთერმული გზით მანგანუმიანი ფეროშენადნობების მიღების ტექნოლოგია ემყარება გადასამუშა-

ვებელი სილიკომანგანუმის სილიციუმით მანგანუმის მონოოქსიდის (**MnO**) აღდგენას.

ლითონური მანგანუმის გამოდნობა სამი სტადიისაგან შედგება:

1. – დაბალფოსფორიანი და მაღალმანგანუმიანი გადასამუშავებელი წილის გამოდნობა,
2. – გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის გამოდნობა,
3. – ლითონური მანგანუმის მიღება

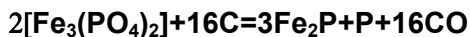
დაბალფოსფორიანი და მაღალმანგანუმიანი წილის მიღების პროცესი იგივეა რაც დეფოსფორაციის მეტალურგიული მეთოდი და იგი ელექტროლუმელში ნახშირბადით კონცენტრატში არსებული ფოსფორისა და რკინის წინასწარ აღდგენას ემყარება. კერძოდ, კონცენტრატს იმ რაოდენობის ნახშირბადამდგენელთან ერთად ადნობენ, რომ მან სრულად აღადგინოს კონცენტრატში არსებული ფოსფორი და მცირე რაოდენობით მანგანუმი. ამ შემთხვევაში მანგანუმის ძირითადი მასა წიდაში რჩება, ხოლო აღდგენილი ელემენტების ხარჯზე (**Fe, P, Mn**), ე.წ. „თანმყოლი“ ლითონი, კერძოდ კი ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი მიიღება (**Mn 45-55%, P 1,5-3%, Si 0,5%, C 2,8-3%**).

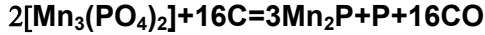
დეფოსფორაციის შემდეგ წიდაში ფოსფორის მოდული (**P/Mn**) არაუმეტეს **0,00038**-ს შეადგენს, რაც 10-ჯერ უფრო მცირეა ჭიათურის უმაღლესი ხარისხის კონცენტრატებში მის ანალოგიურ მაჩვენებელთან შედარებით.

დაბალფოსფორიან გადასამუშავებელ წიდაში მანგანუმის შემცველობა წიდაში არანაკლებ 45-47%-ს შეადგენს ($P \leq 0,013-0,017\%$) და საკაზმე მასალად გამოიყენება მხოლოდ უმაღლესი ხარისხის კონცენტრატები. ამ ტექნოლოგიით მიღებული თანამდგევი ლოთონი ფოსფორის მაღალი შემცველობის გამო (P 1-3%, Si 0,5% , Mn 45-55%), არ არის ფართო გამოყენების.

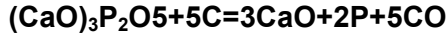
ამუამინდელი ტექნოლოგიით მანგანუმის ამოკრეფის გაზრდის მიზნით, გადასამუშავებელი წიდის მისაღებად, ჯერ გამოადნობენ ფერომანგანუმს ΦMn 78 Б (0,7%-მდე P), რომლის წიდასაც (III M II-78) (Mn 36-38%, SiO_2 20% და P 0,012) წარმატებით იყენებენ გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმისა და ლითონური მანგანუმის გამოსაღწობად. აღსანიშნავია, რომ ამგვარი ტექნოლოგიური სქემით ზ.ფ.ქ.-ში წლების მანძილზე წარმატებით ახორციელებდნენ საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმისა და გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის მიღებას. დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდების მიღებას ახდენენ წყვეტილი და უწყვეტი პროცესით. წყვეტილი პროცესით წიდების მიღებას ახორციელებენ 5000 კვა სიმძლავრის მაგნეზიტის აგურით ამოგებულ ღუმელებში.

წიდების გამოღწობისას ფოსფორის აღდგენა ხდება იმ ნაერთებიდან რომელსაც მანგანუმის კონცენტრატები შეიცავს. $1000^{\circ}C$ -ზე ზემოთ მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია:



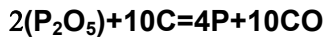
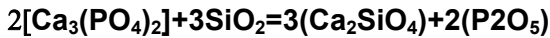


ხოლო 1100⁰C-ზე მაღლა კარგად ვითარდება კალციუმის ფოსფატიდან ფოსფორის აღდგენის რეაქცია:



აღდგენილი ფოსფორი ან იხსნება ან ნაერთს წარმოქმნის აღდგენილ მანგანუმთან და რკინასთან, რითაც უმჯობესდება აპატიტიდან $[(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5]$ ფოსფორის შემდგომი აღდგენა და დაბლა იწვევს აღდგენის ტემპერატურაც.

კაზში SiO_2 -ის არსებობა ხელს უწყობს ფოსფორის აღდგენას.



წიდაში ფოსფორი ლითონური ჩანართებითაც რჩება. ჩანართების შემცირებას წიდაში ხელს უწყობს წილის სიბლანტის შემცირება, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია წილის შედგენილობასა და მისი გასურების ხარისხზე. თუმცა როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, წიდაში ფოსფორის მინიმალური

შემცველობისას წილის ფუძიანობა (**CaO/SiO₂**) არ უნდა აღემატებოდეს 0,3-ს.

Mn-ის და **Fe**-ის აღდგენა იმ რეაქციებით მიმდინარეობს, რომელიც მოცემულია ნახშ.ფერომაგნანუმისა და სილიკომაგნანუმის გამოდნობის ტექნოლოგიაში.

გადასამუშავებელი წილების (**III II M 45** და **III II M 47**) გამოდნობისას ერთ ტონა წილაზე დაახლოებით იხარჯება:

მაგნანუმის კონცენტრატი (48)-----	1180 კგ
კოქსწვრილა-----	37 კგ
კვარციტი (წვრილფრაქციული)-----	87 კგ
სილიკომაგნანუმის გადასაყრელი წილა-----	90 კგ
ელექტროენერგია-----	1330 კვტ.სთ

მაგნანუმის განაწილებას შემდეგი სახე აქვს: ლითონში – **8%**, წილაში – **86%**, ორთქლდება – **6%**.

როგორც წესი დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წილების გამოდნობას ახორციელებენ პერიოდული პროცესით, რადგანაც უწყვეტი პროცესით დნობის შემთხვევაში მატულობს ფოსფორის შემცველობა წილაში.

9.5.1 გადასამუშავებელი სილიკომაგნანუმის გამოდნობა

გადასამუშავებელი სილიკომაგნანუმს (ცხრილი2) ჩვეულებრივად ფეროშენადნობების სადნობ ღუმელებში

აღნობენ. პროცესი ემყარება კაზმიდან მანგანუმისა და სილიციუმის აღდგენას. (იხ. სილიკომანგანუმის გამოღნობის ტექნოლოგია).

ცხრილი 2

გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმის ქიმ.
შემცველობა, %

სილიკომანგანუმის მარკა	Si არანაკლები	C	P არაუმეტეს	Fe
C Mn II-B	28	0,05	0,050	2,0
C Mn II-1	28	0,07	0,050	2,3
C Mn II-2	27	0,15	0,070	2,8

საკაზმე მასალებად გამოიყენება დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წილა, კვარციტი და კოქსი. გამოღნობის პროცესი არის უწყვეტი, ხოლო ლითონისა და წილის გამოშვება კი პერიოდული. გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმს აღნობენ 5 მგტ სიმძლავრის ელექტრო ღუმელში. მცირე რკინაშემცველი სილიკომანგანუმის გამოსაღნობად გამოიყენება 450 მმ დიამეტრის მქონე გრაფიტის ელექტროდები. შენაღნში გადაღის **83,7% Mn** და **60% Si**.

კაზმი შედგება 800კგ დაბალფოსფორიანი წილისგან, 270-280კგ კვარციტისა და 340-360 კგ კოქსწვრილასაგან.

ნახშირბადის შემცველობა გადასამუშავებელ სილიკომანგანუმში (**Si 27-29%**) შეადგენს 0,08-0,1%-ს, ხოლო

მიღებული წიდა შემდეგი ქიმიური შედგენილობით ხასიათდება:

Mn 8,6%, CaO 18,8%, MgO 10,0%, SiO₂ 46,8%, Al₂O₃ 9,9%,

P 0,002%, S 1,7% . წიდის ჯერადობა 0,8-1 ზღვრებში მერყეობს.

9.5.2 ლითონური მანგანუმის გამოღობა

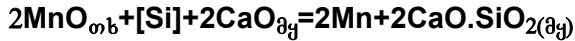
ლითონური მანგანუმის გამოღობას ახდენენ 5 და 7 მგა სიმძლავრის ღია და დასახრელი ტიპის ღუმელებში, რომლებიც მაგნეზიტის ცეცხლგამძლე აგურებითაა ამოკებული. ფლუსად გამოიყენება კირი (93,2% CaO), ხოლო აღმდგენელად გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი.

ლითონური მანგანუმის გამოღობა პირობითად შეიძლება შემდეგ პერიოდებად დაიყოს: ღუმელის შეკეთება, სილიკომანგანუმის ჩატვირთვა (მთლიანი რაოდენობის 1/3), თხევადი წიდის ჩასხმა, კირის ჩაყრა, კაზმის გადნობა, დარჩენილი სილიკომანგანუმის (2/3 მთლიანი რაოდენობის) ჩატვირთვა, კაზმის მთლიანი გადნობა და თხევადი აბაზანის არევა (ჰაერის საშუალებით) სილიციუმის სტანდარტულ ნიშნულამდე ჩამოყვანის მიზნით. დნობის ხანგრძლივობა 3-3,5 საათს შეადგენს.

MnO-ს სილიკომანგანუმის სილიციუმით აღდგენა შეიძლება შემდეგი რეაქციით წარმოესახოს:



კაზმში **CaO**-ს არსებობა აუმჯობესებს მანგანუმის აღდგენის თერმოდინამიკურ პირობებს და ხელს უწყობს ლითონის გამოსავლის გაზრდას.



$$\Delta G^0_{1500-1600 \text{ } ^\circ\text{C}} = 18480 + 86,47T$$

გარდა ამისა, **MnO-SiO₂** სისტემაში **CaO**-ს დამატებით იზრდება **Mn**-ის **Si**-ით აღდგენის თბური ეფექტი.

ერთი ტონა ლითონური მანგანუმის მისაღებად იხარჯება:

გადასამუშავებელი წილა (48%)	—————	2087კგ
გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი	—	650კგ
კირქვა	—————	1631კგ
ელ.ენერგია	—————	2590კვტ.სთ

ლითონური მანგანუმის გამოღობისას მიღებული გადასაყრელი წილა (**Mn 13,7-14,6%, SiO₂ 29,9-29%, CaO 44,2-45,4%, MgO 3,0-3,3%, Al₂O₃ 1,8-3,5%, FeO 0,15-0,20%, P 0,003-0,005%, C 0,17-0,23, S 0,08-0,34%**) გაციებისას 12%-ით მატულობს მოცულობაში და β **2CaO.SiO₂**-ის γ **2CaO.SiO₂** გადასვლის შედეგად წვრილდისპერსიულ ფხვნილად იქცევა.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ლითონური მანგანუმის მიღებისას დიდია მანგანუმის დანაკარგი წიდაში, რის გამოც მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში 50-52%-ს არ აღემატება, რაც ელექტროენერგიის ხარჯისა და თვითღირებულების გაზრდის მიზეზი ხდება.

9.6 საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის გამოდნობა

საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია მე-3 და მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 3

მცირე და საშ. ნახშრ. ფერომანგანუმის ქიმ.
შედგენილობა, %

მ ა რ კ ა	Mn არა	C	Si	P	S
	ნაკლები	არა უმეტესი			
მცირე ნახშირბადიანი ფერომანგანუმი					
Φ Mn 0,5	85	0,5	2,0	0,30	0,03
საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმი					
Φ Mn 1,0 A	85	1,0	1,5	0,10	0,03
Φ Mn 1,0	85	1,0	2,0	0,30	0,03
Φ Mn 1,5	85	1,5	2,5	0,30	0,03
Φ Mn 2,0	75	2,0	2,0	0,35	0,03

მარკა	Mn	C	Si	S	P	
					A-ჯგ	ბ-ჯგ
Φ Mn 90 მცირე ნახშ.	85-95	≤0,5	≤1,8	≤0,02	≤0,05	≤0,3
Φ Mn 88 საშ.ნახშ.	85-95	≤0,2	≤3,0	≤0,02	≤0,10	≤0,4

საშუალონახშირბადიანი ფერომანგანუმის მიღების პროცესი ანალოგიურია ლითონური მანგანუმის გამოდნობის პროცესის, ე.ი. ემყარება სილიციუმით მანგანუმის აღდგენას. კაზმში გამოიყენება ნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო მეთოდით გამოდნობისას მიღებული დაბალფოსფორიანი გადასამუშავებელი წიდა, (ან მანგანუმის კონცენტრატი), გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი (**CMn 17, CMn 20**) და კირი. მაღალფოსფორიანი ლითონის მიღებისას შესაძლებელია გადასამუშავებელი წიდა მანგანუმის მაღალი ხარისხის კონცენტრატით შეიცვალოს. გამოდნობის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები მე-5 და მე-6 ცხრილშია მოცემული.

მე-6 ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარე საშ. ნახშირბადიან ფერომანგანუმში ფოსფორის შემცირებასთან ერთად მანგანუმის ამოკრეფა 63,2%-დან 57,1%-მდე მცირდება, ხოლო ელექტროენერჯის ხარჯი კი 32,2%-ით იზრდება.

აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ზ.ფ.ქ. საშ.ნახ. ფერომანგანუმის გამოდნობის ტრადიციული ტექნოლო-

გიური სქემა არსებობს. კერძოდ, გამოდნობის პროცესი არის ნახევრად ფლუსიანი და წიდაში მანგანუმის შემცველობა 32-34%-ს აღწევს. ასეთი წიდა როგორც მცირე ფოსფორშემცველი ($P \leq 0,012\%$) მასალა წარმატებით გამოიყენება დაბალფოსფორიანი სილიკომანგანუმის გამოსადნობად.

ცხრილი 5

საშუალონახშ. ფერომანგანუმის გამოდნობის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები წილისა (1) და კონცენტრატის (I ს) გამოყენებისას

დასახელება	ვარიანტი	
	1	2
მასალების ხარჯი, კგ/ბ.ტ.		
სილიკომანგანუმის ანაცერი (MC17)	1395	1500
გადასამუშავებელი წიდა IIIPII -78	1115	—
ოქსიდური კონცენტრატი I ს	—	850
ჯამში მანგანუმშემცველი მასალა (48%)	2510	2350
კ ი რ ი	950	640
ელექტროენერგია, კვტ.სთ/ბ.ტ.	2550	1530
Mi-ის შემცველობა წიდაში, %	13,5	13,2
წილის ჯერადობა	2,25	1,7
მანგანუმის ამოკრეფა, %		
ლითონში	66,5	70,9
წიდაში	21,4	14,7
ნარჩენებში	3,0	3,1
აორთქლდა	9,1	11,3

საშ.ნახშ. ფერომანგანუმის გამოდნობის
ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (ფოსფორის სხვადასხვა
შემცველობისას)

მონაცემი	ΦMn 88 P40	ΦMn 88 P30	ΦMn 88 P10
ღუმელის ფაქტიური სიმძლავრე, კვ.ტ.	2958	2565	2899
მასალების ხარჯი, კვ/ტ-ზე სასაქონლო სილიკომანგანუმი	773	440	—
დაბალფოსფორიანი წიდა(48% Mn)	1558	1800	1970
გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი	169	235	692
კ ი რ ი	1204	1230	1670
გრაფიტის ელექტროდი	12,1	13,9	12,5
მაგნეზიტის აგური	70,0	76,0	70,3
ელ.ენერგია, კვტ.სთ/ტ	1971	2265	2606
მანგანუმის ამოკრეფა, %	63,2	61,1	57,1
ელ. ენერგიის სრული ხარჯი, კვტ.სთ/ტ	9161	8748	10999

ზ.ფ.ქ-ის პირობებში საშ. ნახშ. ფერომანგანუმის
გამოდნობის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები მე-7
ცხრილშია მოცემული.

ზ.ფ.ქ.-ში საშ. ნახ. ფერომანგანუმის გამოდნობის
ტექნოლოგიური მაჩვენებლები

მაჩვენებელი	არსებული ტექნოლოგიით
მასალების ხარჯი 1 ტ. ბ.კგ გადასამუშავებელი სილიკომანგანუმი	1076
მანგანუმის კონცენტრატი	1595
კ ი რ ი	494
ელ. ენერგია კვტ.სთ/ტ	1510
მანგანუმის ამოკრეფა ლითონში	54,4
წიდაში	36,8
ორთქლდება	8,8
ღუმელის დღე-ღამური წარმადობა, ტ	37,54
მანგანუმის ამოკრეფა კონცენტრატიდან %	12,4
სილიციუმის გამოყენება, %	53,5

10. სილიციუმისა და შეროსილიციუმის მიღების ტექნოლოგია

სილიციუმი ლითონური ელვარების სალი და მყიფე არალითონია. იგი ხასიათდება შემდეგი ფიზიკო-ქიმიური თვისებებით:

ატომური წონა	—————	28,086
სიმკვრივე (20 ⁰ C)	—————	2370 კგ/მ ³
ვალენტობა	—————	2; 4
დნობის ტემპერატურა	——	1414 ⁰ C
დუდილის ტემპერატურა	——	2287 ⁰ C

არსებობს სილიციუმის ორი ალოტროპული ფორმა, ამორფული (შავი ფერის დენგაუმტარი) და კრისტალური (ფოლადის ფერი, დენგამტარი).

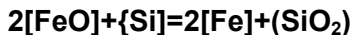
სილიციუმს უანგბადთან მაღალი მიდრეკილება აქვს და მასთან მყარ ოქსიდსა (SiO_2) და არამდგრად მაღალტემპერატურულ ფორმას – SiO (სილიციუმის მონოოქსიდი) წარმოქმნის.

კაუმიწის (SiO_2) კრისტალური და ამორფული ფორმა არსებობს. გახურებით კაუმიწის სამი მოდიფიკაცია (კვარციტი, ტრიდიმიტი, კრისტობალიტი) გახურებით ერთმანეთში გადადის

კვარციტი $\alpha \rightarrow$ კვარციტი $\beta \rightarrow$ ტრიდიმიტი \rightarrow კრისტობალიტი

მყარია 570⁰C-მდე 870⁰C-მდე 1470⁰ C-მდე 1713⁰C- მდე SiO_2 -ის დნობის ტემპერატურაა 1713⁰ C

სილიციუმს ფართოდ იყენებენ ფოლადის განუანგვისა და



ლეგირებისათვის. ფოლადში 1,3-2% სილიციუმის დამატებით იზრდება ფოლადის დრეკადობა და დენადობის ზღვარი.

ფერად მეტალურგიაში სილიციუმი ბრინჯაოს, (Si 5%-მდე), თითბერის, სილუმინისა (11 %-მდე Si) და სხვადასხვა ლიგატურების წარმოებაში გამოიყენება. სილიციუმის მნიშვნელოვანი ნაწილი ხმარდება ქიმიურ და ელექტროტექნიკურ წარმოებას (ნახევარგამტარული მასალების მისაღებად), ასევე იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას წყალბადისა



და მადნების გამდიდრებისთვის მიმე სითხეების მისაღებად. ფეროსილიციუმი რკინა-სილიციუმის შენადნობის ფართო ჯგუფს განეკუთვნება. ГОСТ 1415-78 (ცვლილებით №3 1988) მიხედვით ფეროსილიციუმი შეიძლება 20 სხვადასხვა მარკის გამოდნეს, რომელთაგანაც თითოეულ მადგანს სპეციალური დანიშნულება გააჩნია (ცხრილი 1).

უკრაინის სტანდარტის DCTY 4127-2002 (ცხრილი2) მიხედვით ფეროსილიციუმი შეიძლება იწარმოოს 9 მარკის, რომლებიც თავისი ქიმიური შედგენილობით თითქმის შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტის მოთხოვნებს (ISO 5445. 1980)

ფეროსილიციუმის ქიმიური შედგენილობა
(ГОСТ 1415 - 78 ცვლილება №3 01.07.88)

მარკა	Si	C	S	P	Al	Mn	Cr	Ti	Cs
		ა რ ა უ მ ე ტ ე ს							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΦС 92	არანაკლებ 92	–	0,02	0,03	2,5	0,2	0,2	–	0,5
ΦС 90	არანაკლებ 89	–	0,02	0,03	3,5	0,2	0,2	–	–
ΦС 90A2,5	არანაკლებ 89	0,1	0,02	0,03	2,5	0,2	0,2	–	–
ΦС 75	74-დან 80-მდე	–	0,02	0,05	–	0,4	0,4	–	–
ΦС 75A2,5	74-დან 80-მდე	–	0,02	0,05	2,5	0,4	0,3	–	–
ΦС 75 (Л)	74-დან 80-მდე	0,1	0,02	0,04	1,5	0,3	0,3	–	–
ΦС 75(ЭЛ)	74-დან 80-მდე	0,1	0,02	0,04	0,1	0,3	0,2	0,05	0,1
ΦС 70 ΦС	68–74	–	0,02	0,05	2,0	0,4	0,4	–	–
70A1(ЭЛ)	68–74	0,1	0,02	0,04	1,0	0,3	0,3	0,1	–
ΦС 70(ЭЛ)	68–74	0,1	0,02	0,04	0,1	0,3	0,3	0,04	0,1
ΦС 65	63-68	–	0,02	0,05	2,5	0,4	0,4	–	–
ΦС 65A2	63–68	–	0,02	0,05	2,0	0,4	0,4	–	–
ΦС 65(Л)	63–68	0,1	0,02	0,04	1,6	0,4	0,4	–	–
ΦС 65(ЭЛ)	63–68	0,1	0,02	0,04	1,2	0,3	0,3	0,05	0,5
ΦС 45	41–47	–	0,02	0,05	2,0	0,6	0,5	–	–
ΦС 45(Л)	41–47	0,2	0,02	0,05	1,5	0,6	0,5	–	–
ΦС 25	23–27	0,6	0,02	0,06	1,0	0,8	1,0	–	–
ΦС 25У0,8	23–27	0,8	0,02	0,06	1,0	0,9	1,0	–	–
ΦС 20	20–23	1,0	0,02	0,10	1,0	1,0	–	–	–
ΦС 20 (Л)	19–23	1,0	0,02	0,20	1,0	1,0	0,3	–	–

შენიშვნა, სილიციუმის მარკაში „ა“ მიაწეწნებს, რომ ასეთი მარკა განკუთვნილია სამსხმელო წარმოებისთვის, ხოლო „აა“ მარკა განკუთვნილია ელექტროტექნიკური ფოლადისთვის.

ცხრილი 2

ფეროსილიციუმის ქიმიური შედგენილობა
(СТУ 4127 - 2002)

მარკა	სილიციუმი	C	S	P	Al	Mn	Cr
		ა რ ა უ მ ე ტ ე ს					
ΦC 90	87 - 95	0,2	0,02	0,04	3,5	0,5	0,2
ΦC 75	74 - 80	0,2	0,02	0,05	3,0	0,5	0,5
ΦC 70	68 - 74	0,2	0,02	0,05	2,5	0,5	0,5
ΦC 65	63 - 68	0,2	0,02	0,05	2,5	0,5	0,5
ΦC 45	41 - 47	0,2	0,02	0,05	2,0	1,0	0,5
ΦC 25	23 -29	0,8	0,02	0,10	1,0	1,0	0,8
ΦC 20	19 - 23	1,0	0,02	0,10	1,0	1,0	0,8
ΦC 15	14 - 19	1,5	0,02	0,15	1,0	1,5	0,8
ΦC 10	8 - 14	2,0	0,02	0,15	0,2	3,0	0,8

ფეროსილიციუმის ქიმიური შედგენილობა

მ ა რ კ ა	ქიმიური შედგენილობა %									
	Si		Al		P	S	C	Mn	Cr	Ti
	არა ნაკლები	ჩათვლით	არა ნაკლები	ჩათვლით	ა რ ა უ მ ე ტ ე ს					
FeSi 10	8,0	13,0	—	0,2	0,15	0,06	2,0	3,0	0,8	0,30
FeSi 15	14,0	20,0	—	1,0	0,15	0,06	1,5	1,5	0,8	0,30
FeSi 25	20,0	30,0	—	1,5	0,15	0,06	1,0	1,0	0,8	0,30
FeSi 45	41,0	47,0	—	2,0	0,05	0,05	0,20	1,0	0,5	0,30
FeSi 50	47,0	51,0	—	1,5	0,05	0,05	0,20	0,8	0,5	0,30
FeSi 65	63,0	68,0	—	2,0	0,05	0,04	0,20	0,4	0,4	0,30
FeSi 75 A 11	72,0	80,0	—	1,0	0,05	0,04	0,15	0,5	0,3	0,20
FeSi75A11,5	72,0	80,0	1,0	1,5	0,05	0,04	0,15	0,5	0,3	0,20
FeSi 75 A 12	72,0	80,0	1,5	2,0	0,05	0,04	0,20	0,5	0,3	0,30
FeSi 75 A 13	72,0	80,0	2,0	3,0	0,05	0,04	0,20	0,5	0,5	0,30
FeSi 90 A 11	87,0	95,0	—	1,5	0,04	0,04	0,15	0,5	0,2	0,30
FeSi 90 A 12	87,0	95,0	1,5	3,0	0,04	0,04	0,15	0,5	0,2	0,30

Fe - Si სისტემაში სხვადასხვა სახის სილიციდები არსებობს:

Fe_3Si (14,28% Si), Fe_2Si (20,0% Si), Fe_5Si_3 (23,18% Si),
 FeSi (33,46% Si) და FeSi_2 (50,15% Si).

Fe - Si სისტემის შენადნში სილიციუმის კონცენტრაციის გაზრდასთან ერთად მისი აქტიურობაც იზრდება.

სპეციალისტების მიერ გაანგარიშებულია რკინის სილიციდების წარმოქმნის ჯიბის ენერჯია (ჯ/მოლი) :

$$\Delta G^0_T (\text{Fe}_2\text{Si}) = - 129028 + 2,52T$$

$$\Delta G^0_T (\text{FeSi}) = - 163132 + 1,79T$$

$$\Delta G^0_T (\text{FeSi}_2) = - 121842 + 7,18T$$

დადგენილია, რომ რკინასთან სილიციუმში თერმოდინამიკურად მყარ ნაერთს (სილიციდები მყარ მდგომარეობაში) და ასოციატებს (თხევად მდგომარეობაში) წარმოქმნის, რომელსაც თან ახლავს ფეროსილიციუმის წარმოებისას სილიციუმის აქტიურობის შემცირება. რკინის თანაობისას უმჯობესდება კაჟმიწიდან ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენის თერმოდინამიკური პირობები.

Fe -Si - C სისტემაში ნახშირბადის ხსნადობა სუფთა რკინაში ტემპერატურაზეა დამოკიდებული:

$$[\% \text{C}]_{\text{Fe}} = 1,30 + 2,5 \cdot 10^{-3} t, \text{ } ^\circ\text{C}$$

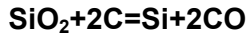
რკინაში გრაფიტის ხსნადობის პროცესის ამსახველ ჯიბის ენერგიის ცვლილებას შემდეგი სახე აქვს:

$$C_{გრ} \rightarrow [C]_{Fe}; \quad \Delta G_T = 21354 - 41,87T, \quad \text{ჯ/მოლი}$$

რკინა ნახშირბადიან შენადნობში სილიციუმის დამატება აფერხებს ნახშირბადის ხსნადობას, რასაც ფეროსილიციუმის მარკების შედარებაც ადასტურებს.

10.1 ნახშირბადით სილიციუმის ალდენის პროცესის თეორიული საფუძვლები

ფეროსილიციუმი მიიღება კვარციტში შემავალი სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენით (რკინის ბურბუშელას თანაობისას). კაზში რკინის ოქსიდებშემცველი მასალების (მადანი, აგლომერატი, გუნდა) ნაცვლად, ბურბუშელის გამოყენება განპირობებულია იმით, რომ რკინის ოქსიდებს დაბალ ტემპერატურაზე უნარი შესწევს SiO_2 -თან წარმოქმნას სილიკატური ნაღვლები. სილიციუმის ნახშირბადით აღდგენის საწყისი თეორიული ტემპერატურა (როცა $\Delta G_T=0$) რეაქციისათვის



ტოლია $1669^{\circ}C$ -ის, ხოლო $FeO \cdot SiO_2$ ნაერთის ვეტეოტიკური ტემპერატურა $1178^{\circ}C$ -ს შეადგენს. ღუმელის

აბაზანაში სილიკატური ნაღვლის წარმოქმნით მკვეთრად მცირდება კაზმის კუთრი ელექტროწინაღობა, ხდება კომპონენტების განშრევა და სილიკატური წილის დაგროვება, რაც ღუმელის ტექნოლოგიური რეჟიმის არევის იწვევს.

ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენისას, თუ ჩავთვლით, რომ კონდენსირებული ფაზა SiO_2 , C და SiC - სგან შედგება, სუფთა სილიციუმის ნაცვლად გვაქვს მისი ხსნარი რკინაში $[\text{Si}]\text{Fe}$ და აირადი ფაზა SiO და CO - სგან არის წარმოდგენილი, მაშინ $\text{Fe} - \text{Si} - \text{O} - \text{C}$ სისტემაში ფაზური წონასწორობის ანალიზისთვის საჭირო მარტივი რეაქციების კომპლექსს შემდეგი სახე შეიძლება ჰქონდეს :

1. SiO_2 -დან ნახშირბადით SiO აირ-მდე აღდგენა :



2. კაუმიწის აღდგენა SiO აირ-მდე SiC -ით :



3. SiO -ს აღდგენა SiC -ს ნახშირბადით:



4. SiO_2 -ის ურთიერთობა $[\text{Si}]\text{Fe}$ -თან SiO აირ-ის წარმოქმნით:

$$2\text{SiO}_2 \text{კონდ.} + [\text{Si}]\text{Fe} = 2\text{SiO}_{\text{აირ}} \quad \text{Lg}K_4 = \text{Lg}(\text{P}^2\text{SiO}_{\text{აირ}} / \alpha\text{Si})$$



$$\text{Lg}K_3 = \text{Lg}(\text{Pco}_{\text{აირ}} \cdot \alpha^2_{\text{Si}}) / \text{PSiO}_{\text{აირ}}$$

6. $\text{SiO}_{\text{აირ}}$ -დან Si-ის აღდგენა Si-ის რკინაში ხსნადობით.

ამრიგად Fe-Si-O-C სისტემაში ფაზური წონასწორობის ანალიზისათვის, რომელიც ითვალისწინებს სილიციუმის რკინაში საკმაოდ კონცენტრაციის ხსნადობას, აუცილებელია არსებობდეს მონაცემები სილიციუმის აქტიურობის ცვლილებისა ნახშირბადით გაჯერებულ Fe - Si - C გაჯ შენადნში.

10.2 ფეროსილიციუმის გამოსადნობი

ელექტროლუმელის ელექტროლი მახასიათებლები

მადანაღდგენითი ელექტროლუმელები ფოლადსადნობი ღუმელისაგან განსხვავებით ღუმელის ტრანსფორმატორის სიმძლავრით ხასიათდება.

ფეროშენადნობების რკალური ღუმელის სასარგებლო სიმძლავრე (P_ს) შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი გამოსახულებით:

$$P_s = (GW) / (365 \cdot 24 \text{ K დრ} \cdot K_{\text{მაქ}}), \quad \text{სადაც}$$

G – მოცემული ღუმელის წარმადობაა ტ/წელიწადში,

W – ფეროშენადნობების გამოსადნობად საჭირო ელექტროენერჯის სვედრითი ხარჯი კვტ.სთ/წელიწადში

365 · 24 – საათების რაოდენობა წელიწადში, სთ

K დრ. – კალენდარული დროის გამოყენების კოეფიციენტი

$$(K \text{ დრ} \approx 0,08 - 0,95)$$

Kმაქს – ღუმელის მაქსიმალური სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი.

ღუმელის ტრანსფორმატორის საპასპორტო სიმძლავრეს ნომინალურს უწოდებენ (Sნომ). ღუმელის ტრანსფორმატორის სრული სამუშაო სიმძლავრე $S=3 \cdot I_{ელ.} \cdot U$ მკვებავი ქსელის დატვირთვის მახასიათებელია. ღუმელის აბაზანაში მიწოდებულ სიმძლავრეს აქტიურ სიმძლავრეს უწოდებენ (Pა). აქტიური სიმძლავრე ყოველთვის ჩამორჩება სრულ სამუშაო სიმძლავრეს და $\text{COS}\varphi$ მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო დიდია ღუმელის ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრე და შესაბამისად ღუმელის აბაზანის გეომეტრიული პარამეტრები: ელექტროდების დიამეტრი (Dელ), ღუმელის აბაზანის დიამეტრი (Dაბ), აბაზანის სიმაღლე (ჩაბ) და სხვა.

10.3 ფეროსილიციუმის გამომწობისა და ჩამოსხმის ტექნოლოგია

ფეროსილიციუმს სხვადასხვა სიმძლავრის (22,5–63 მვა) (ცხრ.1), მადანადღენით ღუმელებში ადნობენ.

საკაზმე მასალად გამოიყენება კვარციტი ($\text{SiO}_2 \geq 97\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 1,5\%$ ფრაქცია 20–80 მმ), კაზმში გამოყენებამდე იგი წინასწარ მომზადებას გადის (გარეცხვა, დამსხვრევა და დახარისხება).

ცხრილი 1

ფეროსილიციუმის გამოსადნობი დახურული
მადანადღენითი ღუმელების პარამეტრები

პ ა რ ა მ ე ტ რ ე ბ ი	PK3 - 27	PK3 -33	PK3 - 63
აბაზანის სიღრმე, მმ	2900	3500	5000
აბაზანის დიამეტრი, მმ	6800	8700	11600
ელექტროდების დიამეტრი მმ	1400	1500	1900
მაღალი მხარის დაბვა, კვ	10	110	220
ტრანსფორმატორის სამუშაო საფეხურის ნომინალური დაბვა , ვ	188	224	268,8
სრული სიმძლავრე, მვა	22,6	40	80
ელექტროდებზე დენი, კა	84,6	103	171,8
სასარგებლო დაბვა, ვ	92,4	109	128,3
სიმძლავრე УПК , მვა	14,0	22,4	82,5
სიმძლავრის კოეფიციენტი: ფაქტიური	0,70	0,65	0,50
ელექტრო მ.ქ.კ.	0,908	0,915	0,892

აღმდგენელად ძირითადად იყენებენ მეტალურგიულ კოქსს (ფრაქცია 5–20 მმ). აღმდგენელს უნდა ჰქონდეს მუდმივი სინესტე, მაღალი ელექტროწინაღობა და სილიციუმის ოქსიდის მიმართ აღდგენის მაღალი უნარი.

ფეროსილიციუმის გამოსადნობი ღუმელი, როგორც მძლავრი ელექტრომიმღები, მთლიანად ემორჩილება ელექტრო გამტარის კანონზომიერებას. რაც უფრო დიდია ღუმელის აბაზანა, მით უფრო დაბალია მისი აქტიური ელექტრო წინაღობა.

რამდენადაც მადანადგენითი ღუმელის ელექტრული და გეომეტრიული პარამეტრები ურთიერთკავშირშია, პროცესის რეგულირების განმსაზღვრელი არის ელექტროდების კაზმში ჩაჯდომის სიღრმე, რომელიც რეგულირდება ძაბვის საფეხურის გადართვით და კაზმის შედგენილობის ცვლილებით. ასე მაგალითად, კაზმში ნახშირბადაღმდგენელის სიჭარბე ამცირებს აბაზანის ელექტროწინაღობას, რის შედეგადაც ელექტროდები მაღლა იწევს და მათი კაზმში ჩაჯდომის სიღრმე კლებულობს. კაზმში აღმდგენელის ნაკლებობა, პირიქით ზრდის აბაზანის აღმდგენი წინაღობას, რის გამოც ელექტროდები დაბლა იწევს და კაზმში ელექტროდების ჩაჯდომის სიღრმეც იზრდება. ელექტროდების ჩაჯდომის ოპტიმალური სიდიდიდან გადახვევა ღუმელის მუშაობის რეჟიმის დარღვევაზე მიუთითებს და საჭირო ხდება აუცილებელი ზომების გატარება.

ფეროსილიციუმის გამოდნობა უწილო პროცესია, თუმცა წილის რაოდენობა მთლიანი რაოდენობის 3–5%-

ს მაინც აღწევს. აღნიშნული წიდა ჰეტეროგენული ფაზისგან შედგება და შემდეგი ქიმიური შედგენილობით ხასიათდება:

48 -50% SiO₂, 20 -25% Al₂O₃, 15 -18% CaO, 10 -15% SiC.

ფეროსილიციუმის გამოშვების რიცხოვნობას განსაზღვრავს ერთ ტონა შენადნობზე დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობა, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია გამოსადნობი ფეროსილიციუმის მარკაზე:

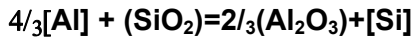
ფეროსილიციუმის მარკა	ΦC	ΦC	ΦC	ΦC	ΦC
	20	25	45	65	75
ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი კვტ.სთ/ტ	2180	2820	4700	7500	8800
ცვლაში გამოშვების რა-ბა (8სთ)	6-8	6-8	5-6	4-5	4-5

ფეროსილიციუმის გამოშვებას წიდასთან ერთად ახდენენ ციცხვში, რომელიც ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით (შამოტი 38 – 40% Al₂O₃, 50 – 55% SiO₂) ან კაუმიწაშემცველი მასით, რომლის შედგენლობაში შეიძლება შედიოდეს ნატრიუმის სილიკატის ხსნარი (თხევადი მინა), ბელიტი (β -Ca₂ [SiO₄], 40-70% CaO, არანაკლებ 30% SiO₂, 3-10% Al₂O₃, 2-10% Fe₂O₃, 0,5% Cr₂O₃) და წყალი.

ფეროსილიციუმს ასხავენ ლენტური ტიპის კონვეიერულ მანქანაზე, რომლის ლენტამაც 5,0–0,02 მ/წმ სიჩქარით შეიძლება იმოძრაოს. ღუმელიდან გამოსული მაღალი მარკის ფეროსილიციუმის ტემპერატურა 1650–1750⁰C-ს შეადგენს, ხოლო კრისტალიზაციის ტემპერატურა კი 1160–1170⁰ C ინტერვალში მერყეობს. შენადნის ტემპერატურის შემცირებისა და წილის უკეთ მოხდის მიზნით, ფეროსილიციუმს გარკვეული დროით ციცხვში აყოვნებენ.

იმის გათვალისწინებით რომ ფეროსილიციუმის ზოგიერთ მარკაში ალუმინის შემცველობა 1–1,5%-ს არ აღემატება, ზოგ შემთხვევაში საჭირო ხდება შენადნის ალუმინისაგან (ზოგჯერ სხვა ელემენტებისაგანაც Ca, Ti, Cr) გაწმენდა.

რაფინაცია შეიძლება განხორციელდეს ღუმელში ან ციცხვში. პირველი გულისხმობს ფეროსილიციუმის რაფინაციას ელექტროროკალურ ღუმელში CaO – SiO₂ სისტემის წილის ქვეშ. ალუმინის დაუანგვა ამ შემთხვევაში შემდეგი რეაქციით მიმდინარეობს:



შენადნში 0,1% ალუმინის შემცველობის მისაღებად, საჭირო ხდება ორჯერ ან სამჯერ ფეროსილიციუმის დამუშავება ახლადშექმნილი წილით.

ელექტროღუმელში ფეროსილიციუმის რაფინაციისას შენადნში კლებულობს სილიციუმის შემცველობა (SiO₂-ის წარმოქმნის გამო) და 1400–1500 კგტ.სთ/ტ-მდე

იზრდება ელექტროენერჯის ხარჯი, რაც აღნიშნული მეთოდის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს.

ციცხვში თხევადი ფეროსილიციუმის რაფინაციისას, წილის წარმომქმნელად იყენებენ კირს, კვარცის ფხენილს, რკინის მადანს, მღღობად შპატს (CaF_2); ამასთან რაფინაციის პროცესის დასაჩქარებლად ციცხვში შენადნში ჩაშვებული ქმინით უბერავენ აირად ენერგომატარებლებს (ჰაერი, ტექნიკური ჟანგბადი, აზოტი ან მათი ნარევი). სარაფინაციო კომპონენტად იყენებენ სიდერიტს (FeCO_3), იგი გახურებისას იშლება და რკინის მონოოქსიდს წარმოქმნის ($\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$), რომელიც ფეროსილიციუმის ალუმინთან ურთიერთქმედებს. გამოყოფილი CO_2 შენადნის არევას უწყობს ხელს. ქვემოთ მოყვანილია ერთი ტონა ფეროსილიციუმის მისაღებად საჭირო მასალების რაოდენობა დახურულ ელ.ღუმელში.

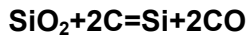
ფეროსილიციუმი მასალების ხარჯი კგ:	ΦC 20	ΦC 25	ΦC 45	ΦC 65	ΦC 75
კვარცი	370	552	931	1568	1930
რკინის ბურბუშელა	810	780	658	343	250
კოქსწვრილა	200	280	438	720	845
ელექტროდების მასა	10	8	16	43,3	54
ელ.ენერჯია, კვტ.სთ/ტ	2100	2750	4800	7410	8800
სილიციუმის ამოკრეფა, %	94,3	98,5	98,2	92,1	91,8

არაკონდიციონირებულმა წვრილფრაქციულმა ფეროსილიციუმმა შეიძლება შეიძინოს სასაქონლო ღირებულება,

თუ კი წვრილფრაქციული მასალა დაბრიკეტდება ან ელექტრორკალურ (ან ინდუქციურ) ღუმელში გადადნება.

10.4 კრისტალური სილიციუმის გამოდნობის ტექნოლოგია

ტექნიკურად სუფთა სილიციუმი (96-99%), რომელსაც ГОСТ 2169-69-ს მიხედვით კრისტალურს უწოდებენ, (ცხრილი 1) რკალურ მადანადღგენით ღუმელებში მიიღება. (მუდმივი ან ცვლადი დენით). მიღების ტექნოლოგია კვარციტიდან ან კვარციდან ნახშირბადით სილიციუმის აღდგენის პროცესს ემყარება:



$$\Delta G^{\text{T}}_0 = 697390 - 359,07 \text{ T} \text{ (ჯ/მოლი)}$$

ამ რეაქციის დაწყების თეორიული ტემპერატურა 1669⁰C-ს ტოლია. კრისტალური სილიციუმი ფართოდ გამოიყენება სილიციუმ-ალუმინიანი შენადნობების გამოსადნობად, სილუმინების მისაღებად (ალუმინოსილიციუმიანი სინთეტიკური შენადნობები) და სპეციალური ფოლადებისა და შენადნობების განუაგვისა და ლეგირებისათვის. ამასთან, უმაღლესი კატეგორიის კრისტალური სილიციუმი (KpOO) მზის ბატარეისა და ნახევარგამტარების წარმოებაშიც იხმარება.

კრისტალური სილიციუმის მარკები და ქიმიური
შედგენილობა
(ГОСТ 2169-69)

სილიციუმის მარკა	Si არა ნაკლები	არა უმეტესი			
		Fe	Al	Ca	Fe+Al+Ca
Kr00	99,0	0,4	0,4	0,4	1,0
Kr0	98,8	0,5	0,6	0,4	1,2
Kr1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Kr2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0
Kr3	96,0	1,5	1,5	1,5	4,0

სილიციუმს აღნობენ სამფაზა ღია ტიპის 16,5 და 22,5 მკა სიმძლავრის ელექტროლუმელებში (ცველადი დენით) უწყვეტი პროცესით. აბაზანა ნახშირის ბლოკებითაა ამოგებული. ელექტროდები გრაფიტისაა. თვითცხოვად ელექტროდებს ნაკლებად იყენებენ, შენადნობში ელექტროლის გარცმოდან რკინის გადასვლის აღბათობის გაზრდის გამო.

საკაზმე მასალებად გამოიყენება კვარციტი (ფრაქცია 20-50 მმ), ნავთობის კოქსი და აირადი ნახშირი (5-15 მმ).

საღუმელე ხვიმირებიდან გამოსული კაზმი ჩამტვირთავი მანქანის საშუალებით ღუმელს ისეთნაირად მიეწოდება, რომ ელექტროდებთან გამუდმებით იქნეს შენარჩუნებული კონუსი (<0,5 მ).

ღუმელის აირების ატმოსფეროში შენადნობის დაყონების შემცირების მიზნით, სილიციუმის გამოშვება უწყვეტად ხდება, რათა თავიდან იქნეს აცილებული მეორადი კარბიდწარმოქმნის პროცესი. რამდენადაც სილიციუმის სიმკვრივე (2,2 გ/სმ³ 1600⁰ C–ზე) წილის სიმკვრივეზე ნაკლებია (2,6-2,8 გ/სმ³), უწყვეტი გამოშვებისას წიდაც გამოდის, რაც აუმჯობესებს ღუმელის მომსახურებასა და ხელს უწყობს დნობის ელექტრული რეჟიმის შენარჩუნებას.

სილიციუმის აღდგენის პროცესი არის CO, რომელიც საკერძეზე იწვის. ერთი ტონა სილიციუმის მისაღებად იხარჯება (16,5 მგა სიმძლავრის ღუმელი, ცვლადი დენის შემთხვევა); კგ

კვარციტი ————— 2540

ხის ნახშირი ——— 1310

ნავთობის კოქსი — 150

აიროვანი ნახშირი — 240

ელექტროენერჯია — 11,2–12,2 მგვ.სთ

სილიციუმის ამოკრეფა 78-85%-ს აღწევს; აღდგენილი სილიციუმის 0,5% წიდაში იკარგება. კაზმიდან შენადნში გადადის, %:

Al	Ca	Mg	Fe
50-55	35-40	30-35	85-98

22,5 მგა სიმძლავრის ღუმელში გამოდნობისას დღელამეში წარმოიქმნება 120 ათასი მ³ აირი, რომელსაც შემდეგი ქიმიური შედგენილობა აქვს; %

CO	CO₂	CH₄	H₂O	N₂	H₂
80-85	4-8	1-3	0,1-1	1-4	1-3

აირი გაწმენდამდე 1,2-2 გ/მ³ რაოდენობით მტვერსაც შეიცავს (**SiO₂** 80%, **Al₂O₃** 2-4%, **Fe₂O₃** 0,1-0,2%, **CaO** 1-2% და **C** - 8%).

ბოყეების შეესების შემდეგ შენადნობი განიცდის კრისტალიზაციას, მიღებულ სხმულს დამტვერვისა და წიღისგან განცალკევების შემდეგ აწვდიან მომხმარებელს.

სილიციუმის გამოდნობისას წარმოქმნილი წიღის (შენადნობის მასის 3-8%) შედგენილობაა, %;

SiO₂ 30-50, **Si** 10-30, **SiO** 8-15, **SiC** 10-40, **Fe₂O₃** 0,5-1,0, **Al₂O₃** 12-15, **CaO** 20-30. აღნიშნული წიდა შეიძლება გამოყენებული იქნეს ფოლადის განუანგვისა (ღუმელში, ციცხვში ან ბოყვში) და სილიციუმისანი ფეროშენადნობების გამოსადნობად.

10.5 სილიციუმისანი კარბიდის წარმოების ტექნოლოგია

სილიციუმის კარბიდი (კარბორუნდი) ფართოდ გამოიყენება როგორც მიკროსისაღის მქონე ხელოვნური აბრაზული მასალა.სილიციუმის კარბიდიდან (**SiC**) მიღებული აბრაზულ ინსტრუმენტს სხვადასხვა ლითონური პროდუქციის გასაწმენდად იყენებენ. მაღალი თერმული

და ქიმიური მდგრადობის გამო, მას ცეცხლგამძლე მასალადაც ხმარობენ.

ელექტრომეტალურგიაში **SiC** განიხილება, როგორც ტექნიკური სილიციუმის, სილიკოკალციუმის, ფეროსილიციუმის, სილიკოალუმინისა და სხვა სილიციუმისანი შენადნობების გამოდნობისას მიღებული შუალედური პროდუქტი.

სილიციუმის კარბიდის მიღების პროცესი ზოგადად შემდეგი რეაქციით შეიძლება წარმოისახოს:



SiC-ს სიმკვრივე **3,22 გ/სმ³-ს** შეადგენს, დაშლის ტემპერატურა **2280K-ს**, ხოლო წარმოქმნის სითბო $\Delta H_{298}^0 = 66,16$ კჯ/მოლია. კარბორუნდი არსებობს შავი და ყვითელი ფერის. ორივე მათგანს სამრეწველო პირობებში ელექტროლუმენებში ღებულობენ. საკაზმე მასალად გამოიყენება კვარცის ფხვნილი და ნახშირბად-აღმდგენელი. ყვითელი კარბიდის მისაღებად კაზმს ნატრიუმის ქლორიდს უმატებენ, რომელიც კაზმში შემავალი ზოგიერთი მინარევის მავნე გავლენასაც ამცირებს.

თიხამიწის შემცირების მიზნით, კვარცის ფხვნილს გულდასმით რეცხავენ, თუმცა არ არის გამორიცხული, რომ აღდგენით გარემოში თიხამიწის დარჩენილმა რაოდენობამ აღმდგენელის ნაცართან ერთად კომპლექსური კარბიდები მაინც წარმოქმნას (**Al₄SiC** და

Al₄CSi₄). მაღალ ტემპერატურაზე **Al₄SiC** შეიძლება დაიშალოს და წარმოქმნას **SiC**, **Al₂O₃** და **C_{გყ}** :

კარბორუნდი მიიღება ელექტროწინალობის ღუმელში (4000-4500 კვა), რომელიც წარმოადგენს მოძრავ ბაქანს და რომლის ბოლოებშიც განლაგებულია დენგამტარი ნახშირის ელექტროდები.

აღნიშნული ღუმელის მუშაობის პრინციპი არის შემდეგი: ბაქანის ფსკერზე ყრიან ნაბრუნს, კვარცის ფხვნილს და შემდეგ აწყობენ ნაჭროვანი ნავთობკოქსის კერნს, რომელსაც ზემოდან აყრიან სარეაქციო კაზმს. კერნი საწყის ეტაპზე სამუშაო წინააღობასაც წარმოადგენს.

ერთი ტონა კარბორუნდის მისაღებად საჭიროა, კვ:

კვარცის ფხვნილი	– 1750/2000
სუფრის მარილი (NaCl)	– 1230
ანტრაციტი	– 900/700
ნავთობკოქსი	– 300/600
ხის ნახერხი	– 170/370
ელ. ენერჯია	– 8200/10000 კვტ.სთ

(მრიცხველი შავი კარბორუნდის შემთხვევაა, ხოლო მნიშვნელი მწვანესი)

საკაზმე მასალები განსაკუთრებულ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს, კერძოდ კვარცის ფხვნილი უნდა იყოს სუფთა მინარეგებისაგან და იგი საშუალოდ უნდა შეიცავდეს **99,6% SiO₂-ს**, **0,3% FeO-ს**, **0,07% Al₂O₃-ს**, **0,04% CaO-ს** **0,03% MgO-სა** და **0,02% TiO₂-ს**.

აღმდგენელად შეიძლება გამოყენებული იქნეს მხოლოდ მცირე ნაცრიანი ნახშირბად აღმდგენლები, როგორცაა ანტრაციტი (ნაცრიანობა 3%, $C_{აყ}$ -93%) და ნავთობკოქსი (ნაცრიანობა 0,8%, $C_{აყ}$ – 94%, აქროლადები 5%, სინესტე 3%).

ღუმელში ტვირთავენ 50-65 ტ კაზმს და 3200-4500 კგ კერნს. კარბორუნდის მიღების პროცესს ძირითადად აკონტროლებენ დახარჯული ელექტროენერგიის რაოდენობით. მაგალითად, 3500 კვტ სიმძლავრის ტრანსფორმატორის შემთხვევაში კარბორუნდის მიღების პროცესი დამთავრებულად ითვლება თუკი ელექტროენერგიის ხარჯი 65-70 მგტ.სთ-ს შეადგენს.

ფეროსილიციუმის გამოდნობისას კაზმში არსებული სილიციუმის კარბიდი ადვილად იშლება ლითონური რკინით $SiC+Fe=[Si]_{Fe} + C_{აყ}$, რკინის მეშვეობით სილიციუმის კარბიდის დაშლის რეაქცია მანამ მიმდინარეობს, სანამ შენადნობში სილიციუმის შემცველობა 23-24%-ს არ მიაღწევს. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს სილიკოკარბიდის ($Fe_5Si_3C_x$) წარმოქმნას.

სილიციუმის კარბიდის წარმოებისას დიდი რაოდენობის აირადი პროდუქტები წარმოიქმნება. ღუმელის კონსტრუქციამ და ჩატვირთვის მეთოდმა, წესით უნდა უზრუნველყოს წარმოქმნილი CO -ს დაუანგვა CO_2 -მდე, მაგრამ სხვადასხვა მიზეზის გამო CO -ს გარკვეული რაოდენობა გარემოს მაინც აბინძურებს, რისთვისაც საჭირო ხდება გამორტყორცნილი მტვრისა და აირის სპეციალური დამჭერი სისტემების შექმნა.

11. ქრომიანი შენადნობების ელექტრომეტალურბია

ქრომი დ. მენდელეევის პერიოდული სისტემის IV ბ ჯგუფის ელემენტია, მისი რიგითი ნომერია 24, იგი შემდეგი თვისებებით ხასიათდება:

ატომური წონა	51,996
დნობის ტემპერატურა	1870 ⁰ C
დუდილის ტემპერატურა	2469 ⁰ C
სიმკვრივე	7,19 გ/სმ ³
ვალენტობა	2, 3 და 6

ქრომი რკინასთან მყარი და თხევადი ხსნარების უწყვეტ რიგს წარმოქმნის. **30%Fe+70% Cr** შენადნის სოლიდუსის ტემპერატურა **1580⁰C** შეადგენს, ხოლო ლიკვიდუსის **1640⁰C**-ს. ნახშირბადთან ქრომი კარბიდებს წარმოქმნის **Cr₂₃C₆**, **Cr₇C₂₃** და **Cr₃C₂**, რომლებიც შესაბამისად **5,58**, **13,3** და **9,0% C**-ს შეიცავს. ახალი მონაცემებით ცნობილია აგრეთვე კარბიდი **CrC**, რომელიც **18,75% C**-ს შეიცავს.

Cr-Si სისტემაში წარმოიქმნება თერმოდინამიკურად მყარი სილიციდები: **Cr₃Si**, **Cr₅Si₃**, **CrSi** და **CrSi₂**, რომელთაგანაც **Cr₃Si** და **Cr₅Si₃** კონგრუენტულად დნება შესაბამისად **1770** და **1720⁰C** ტემპერატურაზე.

ქრომი ფოსფორთან წარმოქმნის ფოსფიდების მთელ რიგს (**Cr₃P**, **Cr₂P**, **CrP**, **CrP₂** და სხვა). მყარ ქრომში ფოსფორი მცირე რაოდენობით იხსნება და შენადნის კრისტალზაციისას გამოიყოფა ფოსფიდების სახით. იმის

გათვალისწინებით, რომ ქრომის ფოსფიდები გაცილებით მტკიცეა ვიდრე რკინის, ქრომის შენადნობის დეფოსფორაცია დაუანგვითი მეთოდით ნაკლებ ეფექტურია.

Cr –S სისტემაში არსებობს სტაბილური (**CrS**, **Cr₃S₄** და **Cr₂S₃**) და მეტასტაბილური (**Cr₇S₃** და **Cr₃S₆**) სულფიდები, ხოლო **Cr –O** სისტემაში კი შემდეგი ოქსიდები: **CrO₃**, **Cr₂O₃**, **Cr₃O₄**, **CrO**.

CaO–Cr₂O₃ სისტემაში ხდება ქრომიტოქრომატის **9CaO.4Cr₂O₃.Cr₂O₃** ($t_{დნ}=1774^{\circ}\text{C}$) და ქრომატის **CaCrO₄** წარმოქმნა. აღნიშნულ სისტემაში მდგრადი ნაერთია კალციუმის ქრომიტი **CaO – Cr₂O₃**. ამ სისტემაში დამუანგველი გარემოს პირობებში ადგილი აქვს ადვილდნადი შემადგენლობის წარმოქმნას.

CrO–SiO₂ სისტემაში მხოლოდ ერთი ნაერთი, ქრომის ორთოსილიკატი (**2CrO.SiO₂**) წარმოიქმნება, რომელიც პერიტექტიკური რეაქციით იშლება. ქრომის ოქსიდი (**CrO**) სუფთა სახით დაბალტემპერატურაზე თერმოდინამიკურად არამდგრადია და ჰაერზე დისპროპორციონირებს შემდეგი სქემით: **3CrO→Cr₂O₃+Cr**.

11.1 ქრომის მადნები და მინერალები

მადნებში ქრომი წარმოდგენილია შემდეგი მინერალებით:

მაგნოქრომიტი **(Mg, Fe) O.Cr₂O₃**

ქრომიკოტიტი **(Mg, Fe) O. (Cr, Al)₂O₃**
 ალუმინოქრომიტი **FeO.(Cr,Al)₂O₃**

რკინის შემცველობის მიხედვით ქრომის მადანი შეიძლება იყოს წითელი ან შავი ფერის. შავი ფერის მადნები ძნელად დნადი და აღსადგენია.

ქრომის მადნები ბუნებაში არსებობს როგორც ნატეხოვანი ისე ფხვნილოვანი სახით. ბუნებრივია წვრილფრაქციული მადნები გამოყენებამდე აუცილებლად საჭიროებს დანაჭროვნებას.

ქრომის მადნები (ყაზახეთის საბადო) უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

მადნის მარკა	DX - 1 - 1	DX - 1 - 2
Cr ₂ O ₃ , % (არა ნაკლები)	50	47
SiO ₂ , % (არა უმეტესი)	7,0	10,0
Cr ₂ O ₃ /FeO	3,5	3,0
P, % (არა უმეტესი)	0,008	0,008

11.2 მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია

ГОСТ 4757-91 (ISO 5448-91) მიხედვით ფეროქრომი სამ ჯგუფად მაღალი, საშუალო და მცირენახშირბადიანად იყოფა. ქრომის შემცველობა ჯგუფის მიხედვით მოცემულია ქვემოთ:

დასახელება	FeCr 50	FeCr 60	FeCr 70	FeCr 80	FeCr 90
Cr, მას. %	45,5	55,0	65,0	75,0	85,0
	55,0	65,0	75,0	85,0	95,0

მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომი მიიღება ქრომისა და რკინის ალდგენით. გამოდნობის პროცესი არის უწყვეტი და იგი მიმდინარეობს მაღალი სიმძლავრის (16,5–33 მვა) ელექტრორკალურ ღუმელებში.

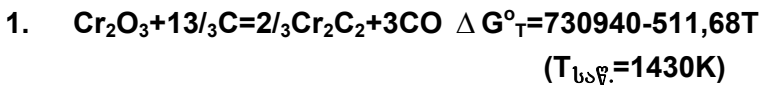
მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის ქიმიური შედგენილობა მარკების მიხედვით არის შემდეგი:

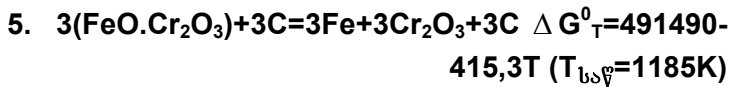
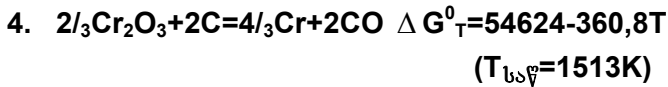
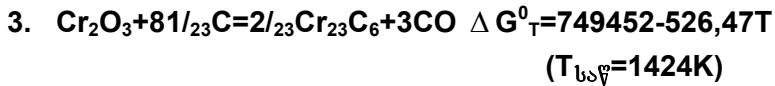
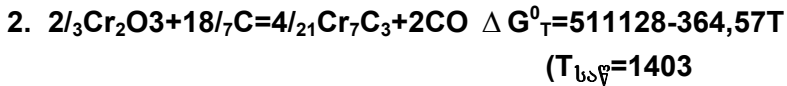
მარკა	Cr, არა ნაკლები	C	Si	P, არა უმეტესი	S
ΦX 650 A	65	6,5	2,0	0,03	0,06
ΦX 650 B	65	6,5	2,1	0,05	0,08
ΦX 800 A	65	8,0	2,0	0,03	0,06
ΦX 800 B	65	8,0	2,0	0,05	0,08
ΦX 800 CA	60	8,0	5,0 -10,0	0,03	0,03
ΦX 800 B	60	8,0	5,0 – 10,0	0,05	0,05

მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოსადნობი ღუმელის მახასიათებლები მოცემულია ქვემოთ:

განზომილება	PK -16,5	PK3-33 M1	
ძაბვა მაღალ საფეხურზე, კვ	110	110	
ტრანსფორმატორის სიმძლავრე, მვა	16,5	40	
მეორადი ძაბვა, ვ	130-210	261-95	
დენის მაქსიმალური ძალა ელექტროდებზე, კა	52,5-65,0	93	
სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\cos\phi$) სამუშაო საფეხურზე	–	0,92	
ელ.ღუმელის აქტიური სიმძლავრე, მვტ	–	31,7	
აბაზანის განზომილება, მმ:	დიამეტრი	9500	9500
	სიღრმე	2975	3850
ელექტროდების რაოდენობა	3	3	
ელექტროდების დიამეტრი, მმ	1200	1500	
ელექტროდებს შორის დაშორება, მმ	3300	4250	

ოქსიდებიდან ნახშირბადით ქრომის აღდგენა შეიძლება შემდეგი რეაქციებით განხორციელდეს (აქვე მოცემულია ჯიბსის ენერჯის ცვლილების ტემპერატურაზე დამოკიდებულება და ის ტემპერატურები, როცა $P_{\infty}=100$ კპა და $\Delta G^{\circ}_T=0$).





მოცემული მონაცემებიდან გამომდინარე ქრომიტიდან ჯერ რკინა უნდა აღდგეს (მე-5 რეაქცია), შემდეგ ქრომი (Cr_2O_3 -დან) კარბიდების წარმოქმნითა (რეაქცია 1, 2 და 3) და სუფთა ქრომის სახით (მე-6 რეაქცია).

მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოსადნობად იყენებენ ქრომის მადანსა და ნახშირბადალმდგენელს (კოქსი, ნახევრადკოქსი, აიროვანი ნახშირი). კაზმში შეჰყავთ აგრეთვე საკუთარი ლითონური ნარჩენებიც. საჭიროების შემთხვევაში ქრომის მადნებს წინასწარ ანაჭროვნებენ აგლომერაციის ან დაგუნდავების მეთოდით.

ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას დიდია წიდის როლი. წიდაში ძირითადი კომპონენტების

რაოდენობა SiO_2 , MgO და Al_2O_3 შეიძლება მცირე ზღვრებში იცვლებოდეს. ასეთი მოთხოვნა განპირობებულია იმით, რომ ლითონის ტემპერატურა გამოშვებისას $1500-1600^\circ\text{C}$ -ს შეადგენს. ასეთი ტემპერატურის მისაღწევად აუცილებელია წიდაც მაღალი დნობის ტემპერატურით ხასიათდებოდეს (1700°C). ასეთი წიდის მისაღებად კაზში ფლუსის სახით კვარციტსაც ამატებენ. სასურველია წიდა შეიცავდეს $30-35\%$ Al_2O_3 -ს, $30-35\%$ MgO -ს და 35% SiO_2 -ს, რადგანაც ასეთი შედგენილობის წიდის დნობის ტემპერატურაა $1560-1680^\circ\text{C}$, ხოლო სიბლანტე 3-7 პუაზი.

ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას ღუმელს მიეწოდება შემდეგი ულუფა:

ქრომის მადანი	850 კგ
ქრომით მდიდარი წიდა	150 კგ
კვარციტი	30-35 კგ
კოქსწვრილა (მშრალი)	220 კგ
ლითონური ნარჩენები	150 კგ

დიდი სიმძლავრის ღუმელებში დნობისას ლითონსა და წიდას ცვლაში სამჯერ უშვებენ კასკადურად განლაგებულ ფოლადის ციციხეებში. ლითონისათვის განკუთვნილი ციციხვი წიდის გარნისაჟითაა დაფარული.

ნახშირბადიანი ფეროქრომის მიღებისას წიდის ჯერადობა 0,8-1,3-ს შეადგენს. მანგანუმის ამოკრეფა 92-96%-ს აღწევს, ხოლო რკინის 95%-ს. კაზმის ანგარიშისას დახურულ ღუმელში დნობისათვის

აღმდგენელს 2% სიჭარბით იღებენ, ხოლო ღია ღუმელში დნობის შემთხვევაში კი 10% სიჭარბით.

ერთი ტონა ბაზური ლითონის მისაღებად იხარჯება; კბ:

ქრომის მაღანი—————1890
კოქსწვრილა ————— 440
კვარციტი ————— 130
ელექტროდების მასა ——— 26
ელექტროენერგია ————— 3400 კვტ.სთ.

წვრილფრაქციული და ღარიბი ქრომის მადნებისა და იაფფასიანი ქვანახშირის გამოყენების შემთხვევაში ძალზე ეფექტურია მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის პლაზმურ ღუმელში გამოდნობა. როგორც გათვლები აჩვენებს კაპიტალური დანახარჯები 50 ათასი ტონა წლიური წარმადობის პლაზმური ღუმელის ასაშენებლად 15 მლნ დოლარს შეადგენს, მაშინ როდესაც იგივე წარმადობის მქონე ელექტროლუმელის აშენებისთვის 26 მლნ დოლარია საჭირო. გარდა ამისა პლაზმურ ღუმელში გამოდნობისას მცირდება ქრომის დანაკარგი წიდაში, იზრდება ღუმელის წარმადობა და რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია სიმძლავრე დამოუკიდებელი ხდება კაზმის წინაღობისგან.

3 მგა სიმძლავრის ღუმელში ღარიბი ქრომის კონცენტრატის, (**38,2% Cr₂O₃** და **24,2% Fe₂O₃**) ნახშირისა და ფლუსის გამოყენებით გამოდნობილი იქნა ფეროქრომი (**54% Cr** და **8% C**). ქრომის ამოკრეფამ 92%

შეადგენა, ხოლო ელ. ენერგიის ხარჯმა ტონა პროდუქციაზე კი 6500 კვტ. სთ.

11.3 ფეროსილიკოქრომი

სტანდარტის მიხედვით ფეროსილიკოქრომი შეიძლება იყოს გადასამუშავებელი და სასაქონლო:

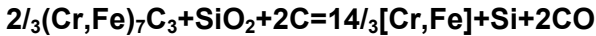
მარკა Si	Cr არანაკლები	C	P	S
		არა უმეტეს		
ΦCX 10-16	55	6,0	0,04	0,03
ΦCX 16-23	48	4,5	0,04	0,02
ΦCX 23-30	45	3,0	0,03	0,02
ΦCX 30-37	40	0,9	0,03	0,02
ΦCX 37-45	35	0,2	0,03	0,02
ΦCX >45	28	0,1	0,03	0,02

სასაქონლო ფეროსილიკოქრომს იყენებენ ფოლადის განუანგვისა და ლეგირებისათვის, ხოლო გადასამუშავებელ ფეროსილიკოქრომს კი როგორც აღმდგენელს მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის გამოსადნობად (სილიკოთერმული მეთოდი).

არსებობს სილიკოქრომის მიღების ორი მეთოდი წიდიანი (ერთ სტადიანი) და უწილო (ორ სტადიანი). ორსტადიანი მეთოდი ემყარება კაზმში გადასამუშავებელი ფეროქრომის არსებობისას (პირველ სტადიაზე მიღებული) კაუმიწიდან ნახშირბადით სილიციუმის

აღდგენის პროცესს. ერთ სტადიური მეთოდისას კაზში იყენებენ ქრომის მადანს, კვარციტს და კოქსწვრილას.

ორსაფეხურიანი უწილო მეთოდით ფეროსილიკოქრომის გამოდნობას ახორციელებენ სხვადასხვა სიმძლავრის ნახშირბადამონაგიან მადანაღდგენით ღუმელებში (16,5–33 მეა), უწყვეტი პროცესით. მე–2 სტადიაზე დნობისას იყენებენ კვარციტს (20–80 მმ), გრანულირებულ გადასამუშავებელ ნახშირბადიან ფეროქრომს, მცირე რაოდენობით რკინის ბურბუშელას, ნახევრადკოქსა და კოქსწვრილას. ფეროსილიკოქრომის მიღების ჯამურ რეაქციას შემდეგი სახე აქვს:



მაღალსილიციუმიანი ფეროსილიკოქრომის (48% Si) გამოდნობისას კაზმის ულუფა არის შემდეგი: კგ

კვარციტი	—————	300
კოქსწვრილა (მშრალი)	—————	50
ნახევრად კოქსი	—————	100
გადასამუშავებელი ფეროქრომი	———	140
რკინის ბურბუშელა	—————	22

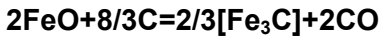
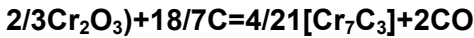
ფეროსილიკოქრომის მიღების ერთსტადიურ მეთოდს (წილიანი) რუსეთსა და ყაზახეთის ფეროშენადნობთა ქარხანაში არ იყენებენ, რადგან მძლავრ ღუმელში ჩატარებულმა სამრეწველო ექსპერიმენტებმა ვერ აჩვენა დადებითი ეფექტი. საკაზმე მასალად გამოყენებულ იქნა

ქრომის მადანი (20-80 მმ), კვარციტი (20-88 მმ) და კოქსწვრილა (5-20 მმ).

კაზმის ულუფა შეადგენს:

	ΦCX 20	ΦCX 33
ქრომის მადანი	500	400
კვარციტი	230	320
კოქსწვრილა (სინესტე 15-20%)	215	230

დნობის პროცესში მადნიდან და კვარციტიდან ნახშირბადიანი აღმდგენელით მიმდინარეობს რკინის, ქრომისა და სილიციუმის აღდგენა:



ქვემოთ ნახვენებია ფეროსილიკოქრომის წილების შედგენილობა (წილური მეთოდი)

	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	≤ SiC	≤ Cr ₂ O ₃
ΦCX 20	42-45	30-35	13-16	2,0	1,0
ΦCX 33	43-46	28-32	13-16	3,0	1,0

ერთი ტონა ფეროსილიკოქრომის გამოსაღობად
საჭიროა:

მაჩვენებელი	Si-ის შემცველობა				
	13	23	33	43	50
მასალების ხარჯი, კგ/ტ: კვარციტი	298/634	520/881	742/1134	965/1320	1121/1464
ქრომის მადანი	- /1905	-/1600	-/1420	-/1145	-/923
კოქსწვრილა	117 /543	220/575	312/625	424/678	308/712
ადასამუშავებელი ფეროქრომი	1089/_	911/_	803/_	648/_	525/_
ფოლადის ბურბუშელა	8/30	41/82	62/84	93/105	115/116
ელ.ენერჯია კვტ.სო/ტ	1500/4770	2450/5660	3390/7040	4350/7770	5110/8870

მრიცხველი უწილ (ორსაფეხურიანი) ტექნოლოგიაა.
მნიშვნელი წილიანი (ერთსაფეხურიანი) ტექნოლოგიაა.

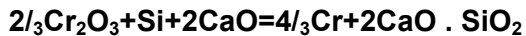
11.4 მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია

CHT ГОСТ 4757-91 (ISO 5448-81) მიხედვით
მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის სამი ქვეჯგუფი
განიხილება:

- 1) მცირეფოსფორიანი ($\leq 0,03\%$)

- 2) მაღალფოსფორიანი
- 3) მაღალქრომიანი (75,0–95%) და მცირეფოსფორიანი ($\leq 0,02\%$)

მცირენახშირბადიანი ფეროქრომი მიიღება ქრომის მადნიდან ფეროსილიკოქრომის სილიციუმით სილიციუმისა და რკინის აღდგენით. კაზმში კალციუმის ოქსიდის არსებობა ხელს უწყობს სილიკოთერმული პროცესის წარმართვას. ამასთან ოპტიმალური პირობები მიიღწევა მაშინ, როდესაც წილის ფუძიანობა (CaO/SiO_2) **1,7- 1,9-ს** გაუტოლდება. ჯამური რეაქცია შეიძლება შემდეგნაირად წარმოისახოს:



არსებობს მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ორი მეთოდი.

პირველი მეთოდი (ერთსტადიანი) გრაფიტის ელექტროდებიან რკალურ ელ. ღუმელში დნობას ემყარება. კაზმი შეიცავს ქრომის მადანს, ფეროსილიკოქრომსა და კირს. ღუმელში მიღებულ ნაღობს აყოვნებენ, მანამ სანამ წარმოქმნილი ფეროქრომი წონასწორობაში მოვა წიდასთან. წონასწორობის დამყარების პროცესში გრაფიტის ელექტროდებიდან ინტენსიურად მიმდინარეობს ლითონის დანახშირბადიანება.

მეორე მეთოდი არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ქრომისა და კირის ნარევეს ცალკე ადნობენ რკალურ

ელ.დუმპელში და მიღებულ მადანფლუსიან თხიერ მასას ციცხვ-რეაქტორში თხევად ფეროსილიკოქრომს ურევენ.

მცირე ნახშირბადიანი ფეროქრომის ქიმიური შედგენილობაა შემდეგი:

მარკა	Cr არა ნაკლები	C	Si	P	S	Al
		ა რ ა უ მ ე ტ ე ს ი				
ΦX001A	68	0,01	0,8	0,02	0,02	0,7
ΦX001B	68	0,01	0,8	0,03	0,02	0,7
ΦX002A	68	0,02	1,5	0,02	0,03	–
ΦX002B	68	0,02	1,5	0,03	0,03	–
ΦX003A	68	0,03	1,5	0,02	0,03	0,7
ΦX003B	68	0,03	1,5	0,03	0,03	0,7
ΦX004A	68	0,04	1,5	0,02	0,03	0,3
ΦX004B	68	0,04	1,5	0,03	0,03	0,3
ΦX005A	65	0,05	1,5	0,03	0,03	–
ΦX005B	65	0,05	1,5	0,05	0,03	–
ΦX006A	65	0,06	1,5	0,03	0,03	0,3
ΦX006B	65	0,06	1,5	0,05	0,03	0,3
ΦX010A	65	0,10	1,5	0,03	0,03	0,3
ΦX010B	65	0,10	1,5	0,05	0,03	0,3
ΦX015A	65	0,15	1,5	0,03	0,03	0,3
ΦX015B	65	0,15	1,5	0,05	0,03	0,3
ΦX025A	65	0,25	2,0	0,03	0,03	–
ΦX025B	65	0,25	2,0	0,05	0,03	–
ΦX050A	65	0,50	2,0	0,03	0,03	–
ΦX050B	65	0,50	2,0	0,05	0,03	–

ორივე მეთოდით გამოდნობის შემთხვევაში საკაზმე მასალები მცირე რაოდენობით უნდა შეიცავდეს ნახშირბადსა და ფოსფორს.

ერთსტადიური მეთოდით მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღება ხორციელდება 5000 კვა სიმძლავრის მაგნეზიტის ავურით ამოგებულ დასახრელი ტიპის ელექტროლუმელში. გამოდნობის ტექნოლოგია შემდეგ ოპერაციებად შეიძლება დაიყოს:

1. ღუმელის შეკეთება;
2. ღუმელში ფეროსილიკოქრომის პირველი ულუფის ჩატვირთვა;
3. პირველი ულუფის გადნობა;
4. ფეროსილიკოქრომის მეორე ულუფისა და მადანკირქვიანი ნარევის ნაწილის ჩატვირთვა;
5. მეორედ მიწოდებული კაზმის ულუფის გადნობა;
6. ლითონისა და წიღის გამოშვება.

მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობა ორი პერიოდისგან შედგება: პირველი პერიოდის დამთავრების შემდეგ ღუმელიდან ახდენენ წიღის გამოშვებას, ხოლო მეორე პერიოდის შემდეგ წიდასთან ერთად ლითონსაც უშვებენ.

ერთი დნობისთვის საჭიროა:

ქრომის მადანი ————— 5200–5800 კგ
კირი ————— 4200–4700 კგ
ფეროსილიკოქრომი ——— 1700–1900 კგ.

ΦX050 და **ΦX025** მარკის ფეროქრომის გამოდნობის ტექნოლოგია დნობის პერიოდის მიხედვით შემდეგ ოპერაციებად შეიძლება დაიყოს: ლითონის გამოშვების შემდეგ დნობის პირველ პერიოდში ღუმელის ქველზე აყრიან 700-1000 კგ ფეროსილიკოქრომს, ჩაუშვებენ ელექტროდებს და დენით დატვირთვის შემდეგ ღუმელს აწვდიან დარჩენილ ფეროსილიკოქრომს მადან-კირიან ნაწილთან ერთად, რომლის გადნობის შემდეგაც ახდენენ ლითონისა და წიდის გამოშვებას. **ΦX015, 025, 050** მარკის ფეროქრომის გამოდნობის შემთხვევაში ღუმელში ფეროქრომს კაზმთან ერთად ტვირთავენ.

მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას წიდის ფუძიანობა 1,70–1,89 შეადგენს. მიღებული წიდა შემდეგი ქიმიური შედგენილობით ხასიათდება, %: **48,0-51,0 CaO, 27,0-30,0 SiO₂, 4,5-5,0 Cr₂O₃, 0,8-1,0 FeO** .

ერთი ტონა ფეროქრომის მისაღებად იხარჯება, კგ:

- ქრომის მადანი — 1620 კგ
- კირი ————— 1440 კგ
- სილიკოქრომი ——— 609
- ელ.ენერგია, კვტ. სთ — 2350

ქრომის ამოკრეფა კაზმიდან ლითონში შეადგენს 80-83%-ს.

მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას მიღებული წიდა შემდეგი ქიმიური შედგენილობით ხასიათდება, %: **45-46 CaO; 26-27 SiO₂; 5,0-6,0 Cr₂O₃; 1,0-1,3 FeO; CaO/SiO₂ =1,7.**

შერევის მეთოდით ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია მთელი რიგი თავისებურებებით ხასიათდება. ქრომის მადნისა და კირის ნარევის გადნობისას, იმის გამო რომ ლითონური ფაზა ამ შემთხვევაში არ ფიგურირებს, მადანფლუსიან ნადნობში ნახშირბადის შემცველობა ყოველთვის მცირეა. გარდა ამისა შერევის პროცესში გრაფიტის ელექტროდების არ არსებობა, წინა მეთოდისაგან განსხვავებით, ასევე ზღუდავს ნახშირბადის მოხვედრის შესაძლებლობას ლითონში.

ნადნობის შერევისას დიდი რაოდენობით სითბო გამოიყოფა (ქრომისა და რკინის ოქსიდების ფეროსილიკოქრომის სილიციუმით აღდგენით და **CaO-** სა და **SiO₂-** ის შეერთებით). გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა საშუალებას იძლევა მყარი ფეროსილიკოქრომიც იქნეს გამოყენებული, რაც მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღებას უფრო ეკონომიურს ხდის. გარდა ამისა, შერევის მეთოდით მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია კინეტიკური თვალსაზრისითაც გაცილებით სწრაფია ღუმელში გადნობასთან შედარებით.

მადანკირიანი ნარევის ნაღვლობის მისაღებად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ქრომის მადნის კონცენტრატი (**Gr₂O₃≥48%**, **Cr₂O₃/FeO=3,5**; **SiO₂≤8,0%**; **CaO≤0,8%**; **P≤0,5%**) და კირი (**CaO ≥8,9%**, **CO₂≤2-4%**, სიმსხო **5–50 მმ**).

იმის გათვალისწინებით, რომ ფეროქრომში ფოსფორის შემცველობას უშუალოდ განსაზღვრავს საკაზმე მასალებში არსებული ფოსფორის რაოდენობა, წინასწარ ახდენენ საკაზმე მასალების კლასიფიკაციას

ფოსფორის შემცველობის მიხედვით. გამოსადნობი ფეროქრომის მარკიდან გამომდინარე, ფეროსილიკოქრომი შეიძლება შეიცავდეს **48–51% Si-ს**, **28,5-29% Cr-ს** და არაუმეტეს **0,02%** ფოსფორს.

ქრომის მადნისა და კირის ნარევის გადნობას ახდენენ მაგნეზიტის აგურით ამოგებულ ელ.ღუმელში. მახურებლად გამოიყენება გრაფიტის ელექტროდები. კაზში ყოველ 100 კგ ქრომის მადანს ემატება 73–82 კგ კირი. მიღებული შენადნი შეიცავს **27-29% Cr₂O₃-ს** და **40-43% CaO-ს**. შენადნის ფორმირების დაჩქარების მიზნით კაზმს მცირე რაოდენობით სილიკოქრომსაც ამატებენ, შედეგად წარმოიქმნება **SiO₂**, რომელიც დაბლა სწევს დნობის ტემპერატურას. მადანკირიან შენადნობს ღუმელიდან უშვებენ მაგნეზიტის აგურით ამოგებულ ციცხვში. **Cr₂O₃-ის** შემცველობისა და მყარი დანამატების მასის განსაზღვრის შემდეგ აღგენენ ფეროსილიკოქრომის საჭირო რაოდენობას. მიღებულ შენადნს ასხავენ ციცხვში. იმ სისწრაფით, რომ იგი შეესაბამებოდეს ციცხვში აღდგენითი პროცესების სინქარეს (200 კგ ფეროსილიკოქრომი/წთ).

მცირენახშირბადიან ფეროქრომს ასხავენ თუჯის ბოყვებში, სხმულის სისქე არ აღემატება 80 მმ-ს.

შერევის მეთოდით ფეროქრომის მიღებისას, საკაზმე მასალების ხარჯი ტონა პროდუქტზე შეადგენს, კგ/ტ:

1. ქრომის მადანი **(50% Cr₂O₃) 1750;**
2. ფეროსილიკოქრომი **(48% Si) 570;**
3. კირი **1370;**
4. ელ.ენერგია **2750** კვტ.სთ/ტ.

ქრომის ამოკრეფა საშუალოდ 80%-ს აღწევს. შემოსული სითბოს რაოდენობის 65,8% მადანკირიან შენადნს შეაქვს, 11,25% თხევად ფეროსილიკოქრომს, ხოლო 23% ეგზოთერმული რეაქციებით გამოიყოფა.

შერევის მეთოდით მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობის ტექნოლოგიას უარყოფითი მხარეც აქვს, რაც ძირითადად მცირეაზოტიანი შენადნის მიღების სირთულეში გამოიხატება.

**11.5 საშუალონახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების
ქანბბაღ-კონვერტირული და სილიკოთერმული
მეთოდი**

საშუალონახშირბადიანი ფეროქრომის ქიმიური შედგებილობა სტანდარტის (ГОСТ 4757-79) მიხედვით არის შემდეგი

მ ა რ კ ა	C	P
	ა რ ა უ მ ე ტ ე ს ი	
ΦX 100 A	1	0,03
ΦX 100 Б	1	0,05
ΦX 200 A	2	0,03
ΦX 200 Б	2	0,05
ΦX 400 A	4	0,03
ΦX 400 Б	4	0,05

შენიშვნა : ყველა მარკა შეიცავს 65% Cr-ს, 2% Si-ს და 0,04% S-ს.

ახალი სტანდარტების (ISO 5448-81) მიხედვით ქრომის შემცველობა საშუალონახშირბადიან ფეროქრომში 45-75% ინტერვალში მერყეობს, ხოლო ნახშირბადისა და სილიციუმის შემცველობა მინიმუმამდეა შემცირებული (შესაბამისად 0,5 და 1,5%). ასეთი შედგენილობის ფეროქრომი შეიძლება მიღებულ იქნეს როგორც სილიკოთერმული ასევე ჟანგბადკონვერტორული მეთოდით. უფრო ადრინდელია უფლუსო სილიკოთერმული მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს ქრომის მადნიდან ქრომისა და რკინის აღდგენას ფეროსილიკოქრომის სილიციუმით:



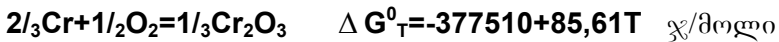
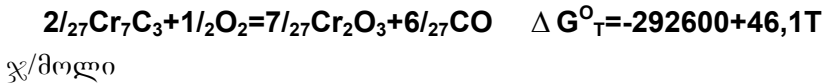
ამჟამად საშუალო ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოსადნობად იყენებენ ფლუსიან მეთოდს, რომლის დროსაც ერთი ტონა პროდუქციის მისაღებად იხარჯება:

1. 1413 კგ ქრომის მადანი (50% Cr₂O₃),
2. 519 კგ 48%-იანი ფეროსილიკოქრომი,
3. 100 კგ წიღის სეპარაციით მიღებული ლითონი,
4. 1241 კგ კირი,
5. 14 კგ ელექტროდების მასა და 2129 კგტ.სთ ელექტროენერგია,

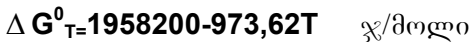
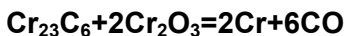
ქრომის ამოკრეფა შეადგენს 76-80%-ს.

ჰანგბად-კონვერტორული მეთოდი

საშუალონახშირბადიანი ფეროქრომის მიღების ეს მეთოდი ემყარება ჟანგბადით ნახშირბადიანი ფეროქრომის ნახშირბადის ამოწვის პროცესს:



ჯიბსის ენერჯიის ცვლილების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების განტოლებიდან გამომდინარე დაბალ ტემპერატურებზე, შებერვის საწყის სტადიაზე უნდა განვითარდეს ქრომისა და ქრომის კარბიდის დაჟანგვის რეაქცია Cr_2O_3 -ის წარმოქმნით. ქრომის 6%-ზე ნაკლები შემცველობისას კი წარმოიქმნება შედარებით მყარი კარბიდი Cr_{23}C_6 (5,8% C). განახშირბადიანების რეაქციას ამ შემთხვევაში შემდეგი სახე აქვს:



აღსანიშნავია, რომ Cr_2O_3 -ით Cr_{23}C_6 კარბიდის ნახშირბადის ამოწვის თეორიული ტემპერატურა უფრო

მაღალია ვიდრე Cr₇C₃-დან, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ დაუანგვის პროცესი თხოულობს მაღალ ტემპერატურას.

ათვისებულია ფეროქრომის წარმოება 15 ტონა ტევა-დობის კონვერტორში, რომელშიც წყლით გამაცივებული საქშინოდან ჟანგბადს უბერავენ. კონვენტორში ყელიდან ასხავენ 7-11 ტონა გადასამუშავებელ ფეროქრომს ($\geq 60\%$ Cr; $\leq 1,0\%$ Si; $\leq 0,05\%$ P; $\leq 0,06\%$ S; ნახშირბადის შემცველობა შეზღუდული არ არის.) ჟანგბადის ხარჯი ერთ ტონა ლითონზე 80 – 100 მ³ შეადგენს. დნობის დამთავრებისას ლითონს აწვდიან 600-800 კგ საშუალო-ნახშირბადიან ფეროქრომს, ხოლო წიდის გათხევადების მიზნით, გამოსვების წინ ღუმელში ამატებენ 15-20 კგ ფეროსილიკოქრომს (ΦCX 48).

კონვერტორში საშუალო ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობის, მატერიალურ ბალანს შემდეგი სახე აქვს:

მიეწოდება

ბადასამუშავებელი ფეროქრომი	89,97
<u>ჟანგბადი</u>	<u>10,03</u>
სულ	100

მიიღება

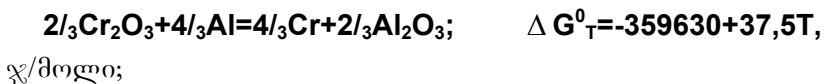
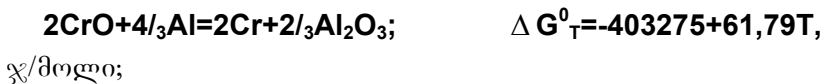
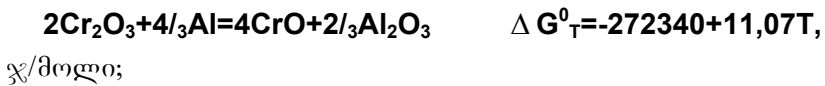
საშ.ნახშირბადიანი ფეროქრომი	62,82
ჰართი	2,79
წილა	7,68
აირი	16,69
<u>შეუსაბამობა</u>	<u>3,02</u>
სულ	100

ერთ ტონა მზა პროდუქციაზე იხარჯება 1230-1260 კგ ნახშიფეროქრომი, 5-8 კგ ალუმინი და 100 მ³ ჟანგბადი. ქრომის ამოკრეფა შეადგენს 80-81 %-ს.

11.6 ლითონური ქრომისა და შეროქრომის მიღება ალუმინოთერმული მეთოდით

ალუმინოთერმული გზით შესაძლებელია მიღებული იქნეს ლითონური ქრომის შემდეგი მარკები: X99A; X99B; X98,5; X98 და X97 (მითითებულია ქრომის მინიმალური შემცველობა).

ქრომის ალუმინით აღდგენა მიმდინარეობს შუალედური ოქსიდის (CrO) წარმოქმნით; აღდგენის პროცესი შემდეგი რეაქციით შეიძლება წარმოისახოს (298–2700 K)



ლითონური ფეროქრომის გამოსადნობად იყენებენ ქრომის ოქსიდს (ქრომის საერთო შემცველობაზე

გადათვლით $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 99$, მარკა OXM-O) და 98% (მარკა OXM-1), პირველადი ალუმინის ფხვნილს.

ღუმელგარეშე დნობის შემთხვევაში სასურველი სითბოს მისაღებად, კაზმში ნატრიუმის გვარჯილასაც უმატებენ, ($>99\% \text{NaNO}_3$). ფლუსად გამოყენებულია კირი. კალციუმის ოქსიდი Al_2O_3 -თან წარმოქმნის ნაერთს, რომელსაც დაბალი დნობის ტემპერატურა აქვს.

კაზმში CaO -ს შეყვანით წიდის დნობის ტემპერატურაც დაბლა იწევს. დამუანგველ გარემოში შესაძლებელია კალციუმის ქრომიტოქრომატის წარმოქმნა ($9\text{CaO} \cdot 4\text{CrO}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ $t_{\text{დნ}}=1218^\circ\text{C}$), რომელიც თავის მხრივ ქრომის აღდგენამდე აუმჯობესებს ქრომიკირიანი შენადნობების წარმოქმნის პროცესს.

ლითონური ქრომის გამოდნობას ახდენენ თუჯის ქურაში, რომლის ქვედა ნაწილი ამოგებულია მაგნეზიტის აგურით. ქურას სპეციალურ კამერაში ათავსებენ. დნობას ახორციელებენ კაზმით, რომელიც შედგება ქრომის ოქსიდის, ალუმინის ფხვნილისა და ნატრიუმის გვარჯილასაგან. გამოდნობას იწყებენ დაბალი აალებით და დასაწყისში ქურაში აწვდიან კაზმის ნაწილს (10-15%). ანთებენ მაგნიუმის ფხვნილისა და გვარჯილის ნარევის და აღდგენითი პროცესის დაწყების შემდეგ უმატებენ კაზმის დარჩენილ რაოდენობას. მიღებულ სხმულს წყალში გაციების შემდეგ ამსხვრევენ.

ერთი ტონა ლითონური ქრომის (97% Cr) მისაღებად იხარჯება 1650 კგ Cr_2O_3 , 620 კგ ალუმინის ფხვნილი და 140 კგ ნატრიუმის გვარჯილა.

ქრომის ამოკრეფა შეადგენს 88%-ს. მიღებული ლითონი შემდეგი ქიმიური შემცველობით ხასიათდება:

Cr	98-99,3%
Al	1,1-0,1%
Si	0,3-0,1%
Fe	0,3-0,6%
C	0,01-0,02%
P	0,04%-0,006%
S	<0,02%
N	0,03-0,2%

11.6.1 ფეროქრომის მიღების ალუმინოთერმული ტექნოლოგია

ალუმინოთერმიის გზით მიღებული მცირენახშირბადიანი ფეროქრომი შემდეგი ქიმიური შემადგენლობით ხასიათდება:

ფეროქრომის მარკა	Cr	C	Si	S	P	Al
ΦX 003A	75	0,03	0,5	0,015	0,010	0,4
ΦX 004A	70	0,04	0,7	0,020	0,018	0,5

საკაზმე მასალეზად გამოიყენება ქრომის კონცენტრატი (58,5% Cr₂O₃; 1.6% SiO₂), პირველადი ალუმინის ფხენილი, კირი და მცირე რაოდენობით გვარჯილა. გამოდნობას ახორციელებენ დახრილ გამოსადნობ აგრეგატში.

პროცესის ხვედრითი სიბოლო 3100–3180 კჯ/კგ-ს შეადგენს, რაც 2360°C ტემპერატურის მიღწევას უზრუნველყოფს. ფეროქრომის გამოდნობისას ქრომის ამოკრევა 89%-ს შეადგენს.

ქვემოთ მოყვანილია ალუმინოთერმული ფეროქრომის მიღების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

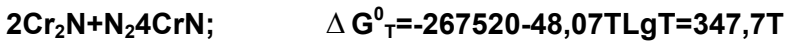
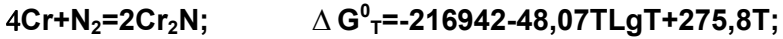
მაჩვენებელი		
მასალების ხარჯი, ტ;	ღუმელგარეშე	ელ.ღუმელში
კონცენტრანტი	2,215	1,756
ალუმინი	0,710	0,466
გვარჯილა	0,411	0,032
კირი	–	0,466
ელ.ენერგიის ხარჯი, კვტ.სთ/ტ	–	1240

მიღებული წიდა შეიცავს: 60% Al_2O_3 -ს, 2-4% Cr_2O_3 -ს, 10-13% CaO -ს, 20-24% MgO -ს 0,8-1% FeO -სა და 0,8-1,5% SiO_2 -ს. აღნიშნულ წიდას იყენებენ მაღალთიხამიწიანი ნახევრადპროდუქტის ან მაღალთიხამიწიანი ცემენტის მისაღებად.

11.7 აზოტირებული ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია

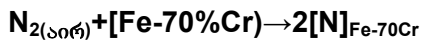
ქრომთან აზოტი წარმოქმნის მყარ ხსნარს $[N]_{Cr}$ და ნიტრიდებს: Cr_2N (11,87% N) და CrN -ს (21,22%N). CrN

ნიტრიდის წარმოქმნის სითბო (ΔH^0_{298}) -114 კჯ/მოლ-ს შეადგენს, ხოლო ენტროპია 328,1 ჯ.მოლ K-ს. ქრომის ნიტრიდების წარმოქმნისას ჯიბისის სტანდარტული ენერჯის ცვლილების დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე შემდეგი სახე აქვს (ჯ/მოლი)



აზოტირებულ ფეროქრომს იყენებენ ნიკელის ნაწილობრივ შემცველ მასალად, აგრეთვე ქრომნიკელმანგანუმისანი და ქრომმანგანუმისანი აუსტენტური ფოლადების წარმოებაში.

აზოტირებული ფეროქრომის ორი ნაირსახეობა არსებობს, გამოდნობილი და შემცხვარი. გამოდნობილი ფეროქრომი (2,0-4,0% N-ის შემცველობით), ინდუქციურ ელექტრო ღუმელებში, ან პლაზმურ-რკალური დნობისას თხევადი მცირენახშირბადიანი ფეროქრომის აზოტით გაჯერებით მიიღება. თხევად ფეროქრომში მოლეკულური აზოტის გახსნას თან სდევს სითბოს გამოყოფა (პროცესის ეგზოთერმულობის გამო).



თხევად ქრომში გახსნილი აზოტის რაოდენობა ტემპერატურის გაზრდით მცირდება.

აზოტირებული შეცხოვრილი ფეროქრომი წარმოადგენს ვაკუმში განახშირბადიანებულ მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის აზოტით გაჯერებულ ფხვნილს (4,0-10,0% N). შეცხოვრილი აზოტირებული ფეროქრომი შეიძლება მიღებულ იქნეს აგრეთვე მცირენახშირბადიანი სილიკოთერმული ფეროქრომის აზოტირებით. მომხმარებლის მოთხოვნების მიხედვით, აზოტის შემცველობამ ფეროქრომში შეიძლება 10%-ს მიაღწიოს.

მარკა (ГОСТ 4757-79)	Cr არა ნაკლები	C	Si	P	S	Al	N არა ნაკლები
		ა რ ა უ მ ე ტ ე ს					
ΦXH 100 A ΦXH 100 Б	65	0,06		<u>0,02</u> 0,03	0,02		1,0
ΦXH 200 A ΦXH 200 Б	65	0,06	1,0	<u>0,03</u> 0,04	0,02		2,0
ΦXH 400 A ΦXH 400 Б	65	0,06		<u>0,03</u> 0,04	0,04	0,2	4,0
ΦXH 600 A ΦXH 600Б	65	0,03		<u>0,03</u> 0,04	0,04		6,0

11.7.1 აზოტირებული ფეროქრომის მიღება მყარ მდგომარეობაში

მყარ მდგომარეობაში აზოტირებულ ფეროქრომს დებულობენ მოლეკულური აზოტის ატმოსფეროში წვრილფრაქციული ფეროქრომის გახურებით იმ ტემპერატურაზე, რომელიც ნიტრიდების თერმოდინამიკურ

მდგრადობასა $[(Cr,Fe)N_2]$ და $(Cr,Fe)N$ და აზოტირების მაღალ სიჩქარეს უზრუნველყოფს.

განახშირბადიანების შემდეგ ვაკუუმის ღუმელებში $1100^{\circ}C$ ტემპერატურაზე 100 კპა წნევის ქვეშ შეჰყავთ აზოტი (99,5% N_2). აზოტირებული ფეროქრომის ბრიკეტებს 3 – 4 კპა წნევის პირობებში აციებენ $600-800^{\circ}C$ -მდე. ბრიკეტების საბოლოო გაციებას ახდენენ ჰაერის საშუალებით. ერთი ტონა აზოტირებული ფეროქრომის მისაღებად (6-8% N; 60% Cr, და 0,01% C) იხარჯება 1100 კგ გადასამუშავებელი ნახშირბადიანი ფეროქრომი, 150 მ³ აზოტი და 9500 კვტ.სთ ელექტროენერჯია.

11.7.2 ფეროქრომის აზოტირება თხიერ მდგონარეობაში

აზოტირებას უკეთებენ მცირენახშირბადიან ფეროქრომს, რომელიც ალუმინითაა განჟანგული და მცირე რაოდენობით შეიცავს სილიციუმს. აირადი აზოტი გასუფთავებული უნდა იყოს ჟანგბადისა და H_2O -სგან. ამ პირობების დაცვა შესაძლებელია ვაკუუმურ-ინდუქციურ ღუმელში.

თხევადი საშუალონახშირბადიანი ფეროქრომის აზოტირება შეიძლება განხორციელდეს აგრეთვე ჟანგბად კონვერტორში, სადაც თხიერ ფეროქრომს აზოტი მიეწოდება გვერდითი მხრიდან. გარკვეული სამუშაოებია ჩატარებული ფეროქრომის აზოტირებისა პლაზმურ ღუმელშიც. ყველა შემთხვევაში მიიღება ფეროქრომი,

რომელშიც 1-2% აზოტია გახსნილი და იგი სხმულის მთელ სიგრძეზე თანაბრადაა განაწილებული.

11.8 გადასამუშავებელი ფეროქრომის მიღების ტექნოლოგია

გადასამუშავებელი ფეროქრომი გამოიყენება სილიკოქრომის მისაღებად, ასევე კონვერტორში საშუალო და მცირე ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოსადნობად და ფოლადის წარმოებაში.

მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას, მნიშვნელოვან როლს ასრულებს წილა, რომლის შედგენილობას განსაზღვრავს თხევადი ფაზის წარმოქმნის ტემპერატურა, მისი რაოდენობა და კაჟმისა და წილის წინაღობა.

ქრომის მადნებში მაგნიუმის ოქსიდის რაოდენობის მომატებით, წილებში MgO-ს შემცველობა 26-31%-დან 42-48%-მდე შეიძლება გაიზარდოს, რაც თავის მხრივ ქრომის დანაკარგების გაზრდასაც განაპირობებს.

გამოკვლევებით დადგინდა, რომ 5-10% CaO-ს დამატებით წილა (რომელიც 31,96% SiO₂-ს, 18,8% Al₂O₃-ს, 45,5% MgO-ს, 1,3% Cr₂O₃-ს, 0,89% CaO-ს, 0,77% FeO-სა და 0,21% S-ს შეიცავს) უფრო თხიერდენადი ხდება, მცირდება მისი დნობის ტემპერატურა და ელექტროწინაღობა. წიდაში 1,5% Na₂O-ს და ამავე რაოდენობით K₂O-ს დამატება, ასევე დაბალა სწევს წილის დნობის ტემპერატურას და ზრდის თხიერდენადობის ინტერვალს.

ამდენად CaO -სა და ტუტემიწალითონების დამატება წიდაში ერთის მხრივ აუმჯობესებს ლითონური ჩანართების დაღეკვის პროცესს (წიდის თხიერ დენადობის გამო), ხოლო მეორეს მხრივ ართულებს საჭირო ტემპერატურამდე წიდის გახურებას (გაზრდილი ელ.გამტარობის გამო). გარდა ამისა, წიდაში ტუტემიწალითონების შეყვანამ შეიძლება ღუმელის ამონაგიც დააზიანოს. თუ ღუმელი ნორმალურად მუშაობს, ელექტროდები დრმად ჩადის კაზში, აირები თანაბრად ამოდის საკერძედან, ლითონი და წიდა ასევე თანაბრად გამოედინება ღუმელიდან. თუ წიდა ბლანტია (რასაც იწვევს წიდაში SiO_2 -ის დაბალი და MgO -ს მაღალი შემცველობა), გაციებისას ციცხვში წარმოიქმნება სქელი ქერქი და ციცხვის კედელზე წიდის გარნისაჟი საგრძნობლად მატულობს. მეტისმეტი თხიერი წიდის შემთხვევაში (რაც გამოწვეულია SiO_2 -ის მაღალი კონცენტრაციით), ციცხვში ქერქი აღარ ჩნდება, შეიმჩნევა წიდის დუღილი, ლითონი სწრაფად ცივდება და წარმოიქმნება ნაღვენთი.

მაღალნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას, განსაკუთრებული მოთხოვნებია გოგირდის შემცველობაზე. ლითონში გოგირდის რაოდენობის გაზრდა შეიძლება განაპირობოს საკაზმე მასალებში მისმა მაღალმა შემცველობამ (უმეტესწილად აღმდგენელის ნაცარში), ღუმელში ფლუსის ნაკლებობამ და კაჟმიწის რაოდენობამ წიდაში. ფეროქრომში გოგირდის შემცველობის შემცირება შესაძლებელია განხორციელდეს დაბალ სამუშაო ძაბვაზე მუშაობით და ლითონში ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდით.

ღუმელის ნორმალური მუშაობის პროცესს უმეტესად არღვევს ქრომის მადანში მაგნიუმის ოქსიდის მომატებული რაოდენობა. MgO-ს რაოდენობის გაზრდით წიდა ბლანტი ხდება და უჭირს ღუმელიდან გამოსვლა, ამასთან MgO-ს რაოდენობის გაზრდაზე მიანიშნებს ლითონში ნახშირბადის შემცველობის შემცირება და წიდის დნობის ტემპერატურის გაზრდა.

ღუმელის ნორმალური სამუშაო რეჟიმის აღსადგენად და MgO-ს კონცენტრაციის შესამცირებლად საჭიროა კაზში მუავე ფლუსის დამატება. გამოდნობის პროცესის ნორმალურად წარმართვისათვის სასურველია წიდების დნობის ტემპერატურა 1883-1923 K ინტერვალში მერყეობდეს. წიდის შემცველობა შეიძლება დარეგულირდეს ფლუსის მეშვეობით. 16,5 მგა სიმძლავრის დახურულ ღუმელებში ნახშირბადიანი ფეროქრომის გამოდნობისას კაზმის ულუფა არის შემდეგი, კგ:

ქრომის მადანი:	ΦX 800	ΦX 900
ნატეხოვანი	300-400	300
ჩვეულებრივი	300-200	300
კოქსწვრილა	75	80-150
ნახევრადკოქსი	60	-
წ ი დ ა		
ფეროსილიციუმის	-	0-60
სილიკოქრომის	0,30	-
კვარციტების ანაცერი	-	0-50
ნაბრუნი ნარჩენები	0-100	0-100

მიღებული ფეროქრომი შემდეგი ქიმიური შედგენილობით ხასიათდება:

	C	Cr	Si	Fe	S	P
ΦX 800	7,88	71,25	0,24	20,55	0,044	0,022
ΦX 900	8,42	69,23	0,26	22,02	0,038	0,018

მიღებული წილა შეიცავს, %

	Cr₂O₃საერ	Cr_{ლით}	Fe_{საერ}	SiO₂	MgO	Al₂O₃	CaO	P	S
ΦX 800	7,7	3,94	1,5	29,1	44,45	15,9	1,1	0,0017	0,29
ΦX 900	6,24	3,20	1,0	32,66	44,63	16,3	1,0	0,0013	0,36

წილის ჯერადობა ΦX -900 მარკის გამოღობისას 0,97-ს შეადგენს, ხოლო ΦX 800 მარკისას–1,04-ს.

ერთი ბ.ტონა გადასამუშავებელი ფეროქრომის მისაღებად იხარჯება:

მასალის ხარჯი, კგ	ΦX 800	ΦX 900
ქრომის მადანი (მშრალი, 50% Cr ₂ O ₃)	1880,2	1812,2
კოქსწვრილა	210,7	374,1
ნახევრადკოქსი	174,44	–
სილიციუმისანი ფეროშენადნობების წილა	95,6	86,1
კვარციტების ანაცერი	-	23,2
ნარჩენების ნაბრუნე	140,91	159,4
ელექტროდების მასა	10,83	11,8
ელ.ენერგია, კჯ	11,87	11,227

ელემენტების განაწილებას აქვს შემდეგი სახე:

ელემენტი	გ ა დ ა დ ი ს, %		
	ლითონში	წიდაში	ნარჩენებში
Cr	89,2/91,8	7,6/5,55	3,2/6,55
Si	1,5/1,7	87,2/93,3	10,9/10,2
S	13,8/9,5	95,4/86,7	7,9/8,4
P	82,2/82,5	6,8/5,6	2,3/4,8
Mg	-	86,2/78,4	10,7/8,7
Al	-	82,2/79,9	10,5/10,1
C	19,1/22,5	1,5/1,3	0,5/1,3

შენიშვნა: მრიცხველი ΦX 800, მნიშვნელი ΦX 900.

ღუმელის სიმძლავრის მიხედვით, ლითონისა და წილის გამოშვებას ცვლაში 3-4 ჯერ ახდენენ შამოტის აგურით ამოგებულ ციცხვში. ციცხვიდან წილის მოწურვის შემდეგ, ლითონს ბოყეებში ასხავენ.

ბიბლიოგრაფიული ლიტერატურა

1. М.И. Гасик, Н.П. Лякишев. Физикохимия и технология электроферросплавов. „Системные технологии“, Днепропетровск 2005
2. М.И.Гасик, Н.П.Лякишев, Б.И.Емлин. Теория и технология производства ферросплавов. Москва, „Металлургия" 1988
3. М.И.Гасик Марганец. Москва, „Металлургия" 1992
4. А.Ф.Каблуковский. Производство электростали и ферросплавов. Москва, ИКЦ „АКАДЕМКНИГА" 2003.

იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 26.02.2009. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 11.03.2009. ქალაქის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 11,5. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი,
კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent

