

UOT 669.1

FERROSİLİSIUM İSTEHSALI ÜÇÜN SİLİSIUMUN ALINMASININ NƏZƏRİ VƏ PRAKTİKİ ƏSASLANDIRILMASI

Şəmsiyyə İlhamqızı

Azərbaycan Texniki Universiteti

E-mail: shemsiyye.ilham@mail.ru

Açar sözlər: ferroərinti, xammal, istehsal, ərinti, polad, istehsal texnologiyası, reduksiya, karbonotermik, ərimə temperaturu

Xülasə. Ferroərıntilərin istehsalında əsas xərc maddəsi xammalın maya dəyəridir. Odur ki, texnoloji, iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan xammalın tərkib və xassələrinin rasionallığı arzuolunandır. Xammalın tərkib və xassələri isə istehsal texnologiyasının düzgün seçilməsi çox əhəmiyyətlidir. Ferroərinti istehsalı texnologiyalarında istifadə olunan üsullar reduksiyaedicinin növü ilə birbaşa əlaqəlidir. Seçilən üsul sobanın növü, xammalın kimyəvi tərkibi və ferroərıntinin istifadə sahəsindən asılıdır.

Bu məqalədə ferrosilisiyum istehsal proseslərinin xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Ferrosilisiyum elektrik poladı istehsalında ən çox istifadə edilən ferroərintidir və onun başlıca elementi silisiyumdur. Ferrosilisiyum istehsalında silisiyumun yüksək təmizliyinin təmin edilməsi mühüm elmi-texniki problemdir.

Son illər müxtəlif sənaye sahələrinin silisiyum xammalına tələbatı 35-50% artmışdır və bu tendensiya metallurgiya sənayesi üçün daha xarakterikdir. Hazırda dünya bazarında təmiz silisiyuma tələbat hər il təqribən 30% artıma malikdir, bu artımın yarısı alternativ enerji mənbələri üçün cihazqayırma sənayesinin payına düşür. Yüksək təmiz silisiyumun alınması metallurgiya texnologiyalarının vacib bir elmi-texniki problemi kimi təhlil olunmuşdur.

Giriş. Simens şirkətinin texnologiyası əsasında alternativ enerji cihazları üçün əldə edilən mono və multikristal silisiyum, həmçinin yarımkeçirici silisiyum istehsalının məhdud həcmi və maya dəyərinin bahalığı səbəbindən məhdud tətbiq olunur. Texniki silisiyumun alınma texnologiyaları arasında kremnezem xammalın birbaşa bərpa texnologiyası xüsusi yer tutur [1; s. 42-48].

Bu proses filiz-termik sobalarda karbon bərpaedici ilə xammaldan silisiyum əldə edilməsi, sonra isə onun istiqamətli kristallaşma üsulu ilə saflaşdırılmasını nəzərdə tutur. Bu texnologiya alternativ enerji mənbələrinin işlənməsi prosesdə ekoloji zərərli və təhlükəli maddələri kənarlaşdırmağa şərait yaradır və istehsal həcmının artması hesabına maya dəyərini azaldır [2; s. 250-254].

Beləliklə, silisiyum alınmasının alternativ texnologiyalarını müqayisə edərək metallurji materialın keyfiyyətinə xüsusi diqqət ayırmaq lazımdır. Ona görə də silisiyumun karbonotermik üsulla alınmasının nəzəri və praktik məsələlərinin həllində mövcud texnoloji əməliyyatların təkmilləşdirilməsinə ehtiyac vardır.

Beləliklə, tədqiqatın məqsədi karbonotermik texnologiyaların nəzəri və təcrübi müddəalatı əsasında ferroərinti istehsalı üçün yüksək təmiz silisiyum xammalının əldə olunmasıdır. Bu məqsədə nail olmaq üçün təqdim olunan məqalədə karbonotermik üsulla hazırlanan silisiyumun keyfiyyət göstəricilərinə tələblərin əsaslandırılması zəruridir.

Kvars xammalın birbaşa bərpası ilə əldə edilən texniki silisiyumda çirklənmə mənbələrini aşkarlamaq lazımdır. Texniki silisiyumun alınması prosesində əritmə zamanı şixtənin xırda fraksiyalı hissəsinin optimal parametrlərin müəyyən edilməlidir. Karbonotermik prosesdə qatışıqların paylanması qiymətləndirilməli və temperatur dəyişmələrində texniki silisiyumda qatışıqların formalaşma qanunauyğunluqları öyrənilməlidir [3; s. 100-101].

Sonrakı tədqiqatlarda karbonotermik prosesdə əritmə məhsullarının element və faza tərkiblərinin öyrənilməli və metallurji xammalın istiqamətli kristallaşma və zonalı əritmə metodları ilə saflaşdırılmasının texnoloji parametrləri təyin olunmalıdır. Nəhayət texniki silisiyumun istifadə sahəsini

genişləndirmək məqsədilə ənənəvi texnologiyaların təkmilləşdirilməsi üzrə tövsiyələr hazırlanmalıdır [4].

Tədqiqatın metod və materialları. Kompüter modelləşməsi üçün tədqiqat obyektləri qismində silisiumun karbonotermik proseslə sobalarda istehsalı (“Selektor” proqramı), silisium ərintisinin oksidləşdirici və likvasiyalı saflaşdırılması (“Diatris” və “Multicomdia” proqramları) istifadə edilmişdir. Analitik tədqiqat obyekti kimi kvarts xammalı, karbonlu materiallar posalar, texniki və rafinəli silisium (və ya silikon) seçilmişdir. İstiqamətli kristallaşma və zonalı əritmə üsulları ilə multikristal silisium nümunələr əldə edilmişdir

Təcrübi sınaqlar müasir analiz üsulları ilə yerinə yetirilmişdir: atom-adsorbsiyalı, atom emissiyalı, metalloqrafik, rentgen-fazalı, rentgen-fluoresant, rentgen-spektral mikroanaliz, həmçinin diffuziyalı əksolunma üçün integrasiya sferası metodu, rentgen-fotoelektron spektroskopiya və skanerli zond mikroskopu.

Aparılmış tədqiqatlar əsasında ovuntu materialların həndəsi parametrlərinin şixtənin məsaməli strukturunun yaranmasına təsirləri müəyyən edilmişdir. Karbonotermik prosesin göstəricilərinə sobaya verilən şixtdə karbonun təsir mexanizmləri aşkar edilmişdir. Texnoloji proseslərə adekvat olan termodinamik modellərin yaradılması əsasında sobada təmiz silisiumun əldə edilməsində çoxsaylı elementlərin fiziki-kimyəvi təsiri öyrənilmişdir.

Müxtəlif qatışıqların əritmə zamanı paylanması termodinamik analizi əsasında temperaturun qatışıqların formalaşma qanunauyğunluğu müəyyən edilmişdir. Ferroərintidə evtektik qatışıqların formalaşma mexanizmlərinin termodinamik analizi metodologiyası işlənmişdir. Ferroərintilərdə ilkin qarışıq tərkiblərinin seçimi və silisium ərintisinin soyudulması zamanı temperatur dəyişmələri nəzərə alınmışdır.

Çoxkomponentli silisium əritməsinin likvasiyalı saflaşdırılmasında elementlərin paylanma xüsusiyyətləri müəyyən olunmuşdur. Kristallaşma metodu ilə təcrübi nümunələrin struktur və elektrik-fiziki xassələrinə silisiumun saflaşdırılmasının texnoloji parametrlərinin təsiri müəyyən edilmişdir. Metallurgiya xammal – multisilisium nümunələrin kimyəvi tərkibi, səthin nano-relyefinin xassələrinin öyrənilməsi əsasında element və faza tərkibinə dair yeni məlumatlar əldə edilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti odur ki, yüksək təmiz silisium nümunələrin təcrübi-sınaq variantları karbonotermik üsulla metallurgiya xammalından əldə edilir. Xırda fraksiyalı xammal materiallarından əridilməyə hazırlıq metodları təklif olunmuşdur. Karbonotermik proseslərin fiziki-kimyəvi modelləri işlənmiş və laborator şəraitdə sınaqdan keçmişdir. Əritmədə texnoloji parametrlərin silisiumun keyfiyyətinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

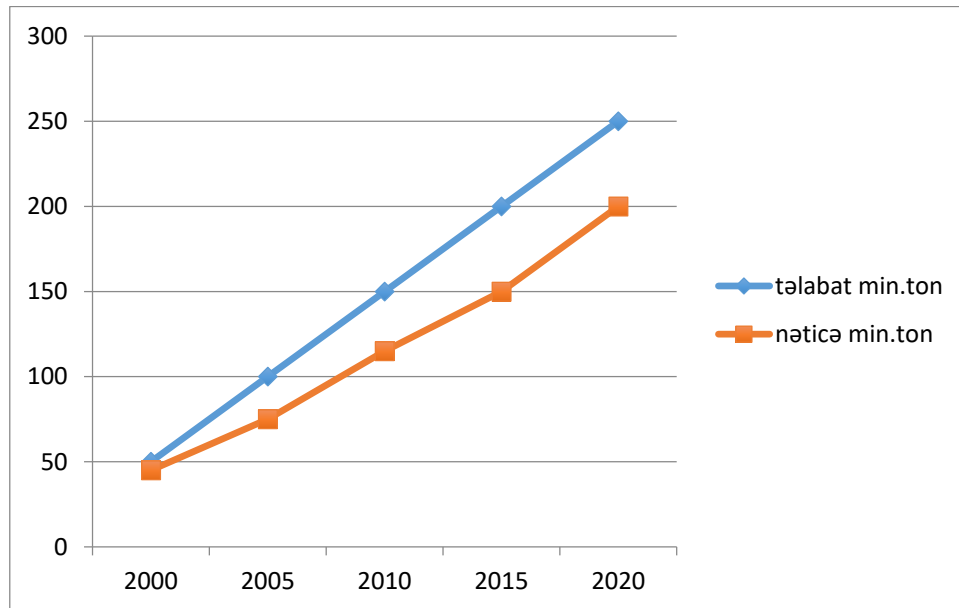
Texniki təmiz silisiumun istehsalı texnologiyasının alqoritmi təklif olunmuşdur: əvvəl oksidləşdirici rafinasiya və sonra kristallaşma həyata keçirilməlidir. Silisium ovuntusunun hidrometallurji metodu saflaşdırılmasının rəşional texnoloji parametrləri müəyyən olunmuşdur. Yüksək təmiz silisiumun zonalı əritmə və istiqamətli kristallaşma ilə metallurji xammaldanda əldə olunmasının səmərəliliyi əsaslandırılmışdır. Təklif olunan texniki və texnoloji işləmələr sənaye şəraitində karbonotermik üsulla yüksək təmiz ferroərintilər istehsalının mənimsənilməsinə zəmin yaradır.

Əldə olunmuş elmi və təcrübi nəticələrin etibarlılığı və dürüstlüyü aşağıdakılarla təmin olunur: metallurji tədqiqatların attestasiya olunmuş metodlarla aparılması; təcrübə və sınaq nəticələrinin fiziki və riyazi modellərə modelləmə göstəriciləri ilə uyğun gəlməsi; elektrik qövs sobasında texnoloji prosesin parametrlərinin termodinamik hesablamalarla uzlaşması; metroloji sınaqlardan keçmiş cihazların istifadəsi; müasir ölçmə cihazlarından (JXA-733 və JXA-8200 markalı elektron-zondlu rentgen-spektral mikroanalizatorlar, MİM-8 tipli metalloqrafik mikroskop, DRON-7 rentgen difraktoometri, CMM-2000 markalı skanedici zondlu mikroskop, UV-3600 adlı spektrometr, LAS-3000 tipli rentgen fotoelektron spektrometr) istifadə olunması; “Selektor” və Microsoft Excel proqramlarından istifadə edilməsi.

Tədqiqatın məqsəd və məsələləri belə formalaşdırılmışdır: bərpaedici əritmə üçün filiz materialların analizi; filiz-termiki soba üçün xırda fraksiyalı şixtə materiallarının hazırlanması, texniki sili-

silisiumun saflaşdırma üsullarının işlənməsi elektrik sobalarında gedən metallurji proseslərin fiziki-kimyəvi modellərinin işlənməsi; müxtəlif saflaşdırma üsulları ilə əldə olunan şixtənin hazırlığının texnoloji mərhələlərində elementlərin paylanmasının termodinamiki analizi.

Əvvəlcə ferroerintilər üçün baza materialı kimi silisium istehsalının müasir vəziyyəti və inkişafının perspektivləri işıqlandırılmışdır. Ehtiyatları kifayət qədər olan (şəkil) ucuz xammaldan silisiumun alternativ texnologiyalarla istehsalının vacibliyi əsaslandırılmışdır. Təmiz silisiumun alınması üçün emal üsullarının patent icmalı aparılmışdır. Alternativ texnologiyalar içərisində silisiumun birbaşa kvartsitlərdən bərpası və ardınca zonalı kristallaşma metodu ilə silisium multi-kristallarının alınması prosesinə üstünlük verilmişdir.



Silisiumun istehlak dinamikası və istehsalın potensial artımı

Birbaşa bərpa texnologiyası ilə kvartsitlərdə rafinasiyadan sonra da tərkibində sobaların məhsuldarlığına və faydalı iş əmsalına mənfi təsir göstərən xeyli miqdar qalır. Metallurji xammaldan yüksək təmiz silisium alınması üçün baza materialı kimi istifadə etdikdə qatışıqların mənbələrini təhlil etmək və onların rafinasiya proseslərində paylanma xarakterinin öyrənilməsinin zərurəti əsaslandırılmışdır.

Sonrakı tədqiqatlar metallurji xammalın kimyəvi tərkib və xassələrinin öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. Silisium istehsalı üçün keyfiyyətli kvars qumunun bir neçə yatağın fiziki-kimyəvi və mineraloji xüsusiyyətləri öyrənilmiş və bu qumlardan karbonotermik üsulla yüksək təmiz silisium əldə edilməsi prosesləri araşdırılmışdır [4].

Filiz-termiki əritmədə dispers materialların birbaşa istifadəsi məqsədəuyğun sayılır, ona görə də xırda fraksiyalı materialların aqreqatlaşdırılmasının optimal parametrlərinin müəyyən edilməsi metodikası hazırlanmışdır. Bu metod kimyəvi reaksiyanın getməsi və əlaqələndiricinin yaranması üçün qələvi mühitdən istifadəyə əsaslanır və aqreqatlaşmış bərk məsaməli kompozisiyanın alınmasına imkan verir [5, 6].

Elektrik qövs sobasında ferrosilisium şixtəsinin əridilməsi prosesinin texnoloji parametrlərini təyin etmək üçün laboratoriya sınaqları aparılmışdır. Briketlənmiş şixtə yüksək məsaməliliyə malik olduğundan tərkibdə əlaqələndiricinin payı 15-30% intervalında olmuşdur. Bu amil sobanın elektrik rejiminin yaxşılaşmasına səbəb olur, çünki briket hissələri arasında elektrik kontaktı şixtənin elektrik müqaviməti artır. Odur ki, briketlənmiş şixtə 1200°C-də 9-10 Om·sm qiymətə malik müqavimətlə xarakterizə olunur. Briketlənmiş şixtə həm də əzilməyə mexaniki davamlılıq nümayiş etdirir.

Bundan başqa, xırda fraksiyalı dənəvər kvars və “Karbosil” tərkibli şixtənin sınaq əritmələri aparılmışdır. Şixtənin orta məsələliliyi 45-50%, xüsusi müqaviməti 2–7,0 Om·sm təşkil etmişdir. 20 kq-lıq induksiya sobasında əritmənin gedişatı davamlı sabit elektrik rejimi, şixtənin rəvan əriməsi və mülayim bişməsi müşahidə olunmuşdur. Şixtədən silisium çıxışı ortalama 86,3% olmuşdur ki, bu da ənənəvi şixtənin analoji göstəricilərindən əhəmiyyətli dərəcədə yüksəkdir.

Nəticə. Beləliklə, yerli kvarsitlərin texnoloji parametrlərinin (zənginləşdirmə, termokimyəvi davamlılıq və s.) və kimyəvi tərkibinin analizi göstərmişdir ki, Azərbaycanda bir neçə keyfiyyətli kvars qumu yataqları vardır və onlardan karbonotermik üsulla yüksək təmiz silisium əldə edilməsinə nail olmaq olar. Ferrosilisium istehsalında istifadə olunan karbon tərkibli materiallar (koks) qatışıqların miqdarına, həm də kifayət dərəcədə reaksiyaya girmə qabiliyyətinə və xüsusi elektrik müqavimətinə görə tələblərə cavab verməlidir. Sənayedə istifadə olunan karbonlu materiallar çox vaxt bu tələblərə yetərinə cavab vermir. Bizim tövsiyə etdiyimiz “Karbosil” adlanan his və ya qurum mənzəli karbonlu material minimum miqdar külə malikdir. Təklif olunan materialın reaksiya qabiliyyəti digər karbonlu materiallara görə yuxarıdır.

Silisiumun əridilməsi zamanı bu və ya digər karbonlu materialın istifadə edilməsi karbonotermik üsulun texniki-iqtisadi göstəricilərinə təsir edir və materialın fiziki-kimyəvi xassələrindən asılıdır. Karbon tərkibli materialların tətbiqi xərcləri 10-15% azaltmağa, hazır məhsul çıxışını 2,5%-dək artırmağa və enerjini 1,8% qənaət etməyə imkan verir.

ƏDƏBİYYAT

1. Дашевский В.Я. Ферросплавы. Теория и технология. Москва, Metallurgiya, 2014, 360с.
2. Рахманов С.Р., Тополев В.А., Гасик М.И., Мамедов А.Т. и др. Процессы и машины электрометаллургического производства. Монография. Баку-Днепр, «Системные технологии», изд. «Сабах, 2017, 568с.
3. Ferro Alaşımaların İstihsalı. Elektrometalürji (Çev. H.Erman Tulgar). Elyutin V.P., Yu.A., Pavlov, Levin B.E., Alekseev E.M. (1968) Cilt-1, İstanbul, 2014, 490 s.
4. Y.Miyauchi, T.Nischi, K.Saito, Y.Kizu. Improvement of High Temperature Electric Characteristics of Manganese ores, INFACON X, South Africa, 2004, pp.155-162.
5. URL-1, <http://www.molybdenum.com.cn/Production-of-molybdenum-iron.html>. Ferro Molybdenum Production Process, 30 May 2019.
6. URL-2, <https://www.wbrl.co.uk/ferro-molybdenum.html>. Ferro Molybdenum, 30 May 2019.

THEORY AND PRACTICAL JUSTIFICATION OF SILICON PROCUREMENT FOR FERROSILICON PRODUCTION

Shamsiyya İlham

Azerbaijan Technical University

Abstract. In the production of ferroalloys, one of the major costs is the cost of raw materials. Both from an economic point of view, as well as an environmental point of view, full optimization of the raw materials is desired. In this regard, it is very important to choose the right production technology. The methods used in the production of ferroalloys depend on the type of reducer. This paper discusses the methods used in the production technology of ferroalloys. The method chosen depends on the type of oven, the chemical composition and the area of use.

Research shows that all the methods have advantages and disadvantages. Chosen of a modern method for the production of ferroalloys, can buy high-quality ferroalloys, as well as save electricity, can be solved environmental problem.

Ferrosilicon is the most widely used ferroalloy in the production of silicon steel and its main element is silicon. Ensuring high silicon purity in ferrosilicon production is an important scientific and technical problem. In recent years, the demand for silicon in various industries has increased by 35-50% and this trend is more typical for the metallurgical industry. Currently, the demand for pure silicon in the world market is growing by about 30% years, half of which is due to devices for alternative energy sources. Obtaining high purity silicon is due to devices for alternative energy sources. Obtaining high purity silicon is also an important problem of metallurgical technologies.

Keywords: *ferroalloy, raw material, production, alloy, steel, production technology, reduction, carbonothermal, silicothermal, melting temperature.*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСИЛИЦИЯ****Шамсийя Ильхам***Азербайджанский технический университет*

Резюме. При производстве ферросплавов одной из основных статей расходов является стоимость сырья. Как с экономической точки зрения, так и с экологической точки зрения желательна полная оптимизация сырья. В связи с этим очень важно правильно выбрать технологию производства. Методы производства ферросплавов зависят от типа восстановителя.

В данной статье рассматриваются особенности получения кремния для производства ферросилиция. Указано, что технологи производства зависят от типа печи, химического состава сырья и область применения ферросплава.

Исследования показывают, что все методы имеют свои преимущества и недостатки. Выбранный современный способ производства ферросплавов – карбонотермия позволяет производить высококачественные ферросилиция, а также экономить электроэнергию и решать экологические проблемы.

Ферросилиций является наиболее широко используемым ферросплавом в производстве, в том числе кремнистой стали, и его основным элементом является кремний. Обеспечение высокой чистоты кремния при производстве ферросилиция является важной научно-технической задачей. За последние год спрос на различных отраслях промышленности увеличился на 35-50% и это тенденция более характерна для металлургической промышленности. Рост потребности кремния в последние годы неразрывно связана с его применением на устройствах альтернативных источниках энергии. Поэтому получение кремния высокой чистоты является важной проблемой металлургических технологий.

Ключевые слова: ферросплавы, производство, сплав, сталь, восстановление, температура плавления

Daxil olub: 14.10.2022