

რადიო
აზერბაიჯანი

აკოლონ
ავალიანი

იონურ ღღობილთა ელექტრომეცაღურბია

(მეორე შეესებული გამოცემა)



«მეცნიერება»

თბილისი

1983

წიგნში განზოგადებულია ქიმიისა და მეტალურგიის ერთ-ერთ უაღრესად მნიშვნელოვანი და პერსპექტიული დარგის -- იონურ ლობილთა ელექტროლიზის თეორიისა და სამრეწველო პრაქტიკის ძირითადი საკითხები. განხილულია გამლღვალ მარალთა განმასხვავებელი თვისებები და მალალ ტემპერატურაზე მიქლინარე პროცესების თავისებურებანი. ძირითადი ყურადღება ეთმობა ტექნიკის ახალი დარგების პროგრესისათვის აუცილებელი მასალების -- ალუმინის, ლითიუმის, ნატრიუმის, ბერილიუმის, მავნიუმის, კალციუმის, ბორისა და სხვა ქიმიურად აქტიური მეტალები, აგრეთვე ფტორის მიღების ტექნოლოგიას, რომელთა გამოყოფა წყალსხნართა ელექტროლიზით შეუძლებლად არის მიჩნეული.

გაშუქებულია მეტალთა ლობილთა ელექტროლიზის მეთოდით რაფინირებისა და თხევადი კათოდის გამოყენებით შენადნობების მიღების საკითხები.

წიგნი განკუთვნილია როგორც დამხმარე საბეჭდო-საეკონომიკური უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლის სტუდენტებისათვის, აგრეთვე ტექნიკუმებისა და ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლის პედაგოგებისათვის.

ატომისა და კოსმოსის ეპოქის მასალები

XX საუკუნის დასაწყისში დ. მენდელეევი ჩვენი ცივილიზაცია დაახასიათა როგორც პოლიმეტალური. ატომისა და კოსმოსის ეპოქამ ამ მოსაზრების სამართლიანობა საბოლოოდ განამტკიცა. თანამედროვე ტექნიკამ თითქმის ყველა ლითონსა და ათასობით შენადნობს გამოუნახა გამოყენების სფერო, ზოგჯერ მეტად საკვირველი და მოულოდნელი. შეიძლება დარწმუნებული ვიყოთ, რომ რამდენადაც უნდა გაფართოვდეს პროგრესული ქიმიური მასალების, კერძოდ, პლასტმასების, სინთეზური ფისებისა და ხელოვნური ბოჭკოს წარმოება, ლითონებს არც მომავალში ემუქრება „უმუშევრობა“ — ლითონი ყოველთვის იყო და იქნება მატერიალური კულტურის მძლავრი ხერხემალი. სწორედ მისი გამოუმუშავება და ხარისხი განსაზღვრავს, უწინარეს ყოვლისა, ქვეყნის ტექნიკური პროგრესის დონეს.

თანამედროვე და ხვალისდელი დღის ტექნიკის აღმავლობისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვთ ე. წ. მ ს უ ბ უ ქ ლ ი თ ო ნ ე ბ ს. ამ ჯგუფს პირობითად მიაკუთვნებენ ისეთებს, რომელთა კუთრი წონა 3,7-ს არ აღემატება. ასეთებია: პერიოდული სისტემის I და II მთავარი ქვეჯგუფის ელემენტები, აგრეთვე ბორი და ალუმინი — III ჯგუფიდან. მათ შორის ყველაზე მოწინავე პოზიციები ალუმიინმა და იმკვიდრა. ჩვენ მოწმენი ვართ იმისა, როგორი ძლევამოსილებით შემოიჭრა იგი განსაკუთრებით ბოლო ათეული წლების მანძილზე ტექნიკისა და ცხოვრების ყოველ სფეროში, — იქნება ეს ავიაცია თუ სახმელეთო და საზღვაო ტრანსპორტი, სამშენებლო ინდუსტრიის მრავალსახეობა თუ ატომური და რაკეტული ტექნიკა, ქიმიური და ნავთობის მრეწველობა თუ სოფლის მეურნეობის ნაწარმის გადაზიდვის, გადამუშავებისა და შენახვის საქმე და სხვ. ამჟამად არ არსებობს ალუმიინზე უკეთესი მასალა კვების პროდუქტების შესაფუთავად; იგი წარმატებით ცვლის თვით კალასაც კი კონსერვის მრეწველობასა და სხვა დარგებში. ნამდვილად ბედნიერი აღმოჩნდა ელემენტი № 13 კაცობრიობისათვის. მისგან ამჟამად 200-ზე მეტი დასახელების დეფიციტური ნაწარმს ამზადებენ.

ყოველივე ამის გამო ალუმინის მეტალურგიამ 60-იან წლებში ფოლადის შემდგომ მეორე ადვილზე გადაინაცვლა და განუხრელად მიიწევს მაღლა. მას ახასიათებს წარმოების მაქსიმალური ზრდა — 12,5% წლიურად. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ამ მნიშვნელოვანი სტრატეგიული ლითონის წარმოება ყოველ 7—8 წელიწადში ორმაგდება.

ამ მხრივ თითქოს მართლდება დ. მენდელეევის მეორე წინასწარმეტყველება — რკინის საუკუნის ალუმინის საუკუნით შეცვლის შესახებ. „სოციალიზმის ლითონს“, როგორც მას ნ. ჩერნიშევსკიმ უწოდა, ნამდვილად აქვს მონაცემები, რათა იგი გახდეს მომავლის ცივილიზაციის საფუძველი.

თანამედროვე ავიაციის, კოსმოსური აპარატურათმშენებლობისა და ტექნიკის ბევრი წამყვანი დარგისათვის არანაკლებ მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა მეორე „მფრინავი ლითონის“ — მაგნიუმისა და განსაკუთრებით კი მისი შენადნობების — როლი. საჭირო ტრანსპორტის განვითარება, მაგალითად, ბევრად უნდა უმადლოდეს ერთ-ერთი ასეთი შენადნობის — დიურალუმინის გამორჩეულ თვისებებს.

მაგნიუმის შენადნობები ფართოდ დაინერგა რაკეტებისა და თანამგზავრების საკონსტრუქციო ნაწილების დასამზადებლად.

ტექნიკისათვის მრავალმხრივ პერსპექტიული აღმოჩნდა ბერილიუმის. მისი შემცველი მინერალების სიმცირის მიუხედავად, იგი დიდმნიშვნელოვანი მასალაა განსაკუთრებით ახალი ტექნიკის პროგრესული დარგებისათვის (კოსმოსური აპარატების პანელები, ოპტიკური ტელესკოპების სარკეები, სიღრმული აპარატები, ზემტკიცე რესორები და სხვ.). ზეჩქარული თვითმფრინავების მაღალი მახასიათებლები, კერძოდ, დიდად იქნება დამოკიდებული ამ ლითონის ძვირფას თვისებათა ერთობლიობაზე. საკმარისია აღინიშნოს, რომ კუთრი სიმტკიცით და თბოტევადობით იგი საკმაოდ აღემატება ყველა სხვა საკონსტრუქციო მასალას.

ქიმიურად აქტიური ლითონებიდან ტექნიკაში ყველაზე ფართო გამოყენება ჰპოვა ნატრიუმმა; რაც შეეხება ტუტე ლითონების ჯგუფის პირველ ელემენტს ლითიუმს, იგი კარგა ხანს სავსებით მივიწყებული იყო, ვინაიდან, სიმსუბუქის მიუხედავად (ჩვეულებრივ პირობებში მყარ მდგომარეობაში მყოფი ელემენტებიდან ლითიუმი ყველაზე მსუბუქია — 0,53), არც მას და არც მის შენადნობებს საჭირო საკონსტრუქციო თვისებები არ აღმოაჩნდა; მაგრამ მომავლის ტექნიკამ სწორედ ამ თითქოსდა უპერსპექტივო ლითონს დაუხსნა ყველაზე მნიშვნელოვანი გამოყენების სფერო; ნავარაუდევია, რომ ლითიუმმა უნდა შეასხას ფრთები კაცობრიობის სანუკვარ ოცნებას — მარ-

38 174	1s	11s	111s	IVs	Vs	VIs	VIIIs	8s	8s	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	0					
1	H ¹														He ²					
2	Li ³	Be ⁴									C ⁶	N ⁷	O ⁸		Ne ¹⁰					
3	Na ¹¹	Mg ¹²								Al ¹³	Si ¹⁴	P ¹⁵	S ¹⁶		Ar ¹⁸					
4	K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰		Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶	
5	Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Ni ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸		In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴	
6	Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷	Hf ⁵⁸	Ta ⁵⁹	W ⁶⁰	Re ⁶¹	Os ⁶²	Ir ⁶³	Pt ⁶⁴	Au ⁶⁵	Hg ⁶⁶		Tl ⁶⁷	Pb ⁶⁸	Bi ⁶⁹	Po ⁷⁰	At ⁷¹	Rn ⁷²	
7	Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹	Ku ⁹⁰⁻¹⁰³																

სურ. 1. **☒** ელემენტები (ლითონები და არალითონები), რომელთა სამრეწველო მასუბებიო მიღება და რაფინირება იონურ ლობილთა ელექტროლიზით ხორციელდება.

☒ ელემენტები, რომელთა მიღება და რაფინირება შესაძლებელია ლობილთა ელექტროლიზით

თვადი თერმობატომგულური რეაქციის პრაქტიკულად განხორციელების საქმეს.

როდესაც მსუბუქ და ქიმიურად აქტიურ ლითონებზე ვლასარაკობთ, არ შეიძლება ხაზგასმით არ აღინიშნოს მათი მიღების საინტერესო მეთოდის, კერძოდ, იონურ ლობილთა ელექტროლიზის ხერხის თავისებურება. ეს დარგი მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთობლივი წინსვლის შედეგად განვითარდა და რაც დრო გადის, მით უფრო დიდი მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონე ხდება. სწორედ მისი მეთოდების დაუფლებამ განაპირობა მომავლის ტექნიკის ძირითადი საფუძვლის — მსუბუქი ლითონების წარმოების მძლავრი აღმავლობა.

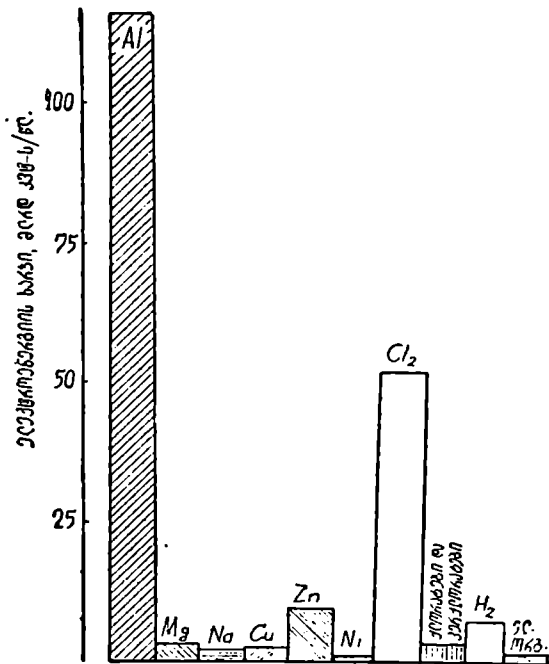
იონურ ლობილებს ახალი ტექნიკისათვის საჭირო ბევრა უნიკალური თვისება აღმოაჩნდა, რამაც განაპირობა მათი ფართოდ დანერგვა ტექნიკის ნაირგვარ სფეროებსა და მეცნიერული კვლევის საქმეში.

ყველაზე მნიშვნელოვანი ამ მხრივ არის იონურ ლობილთა ელექტრომეტალურგია, ვინაიდან სწორედ იგი წარმოადგენს ერთადერთ გზას ისეთი ლითონების (და არალითონების) მისაღებად, რომელთა გამოლექვა წყალხსნარებიდან შეუძლებელია. ელექტროდენის, როგორც ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრის გამოყენება საკრძნობლად ამარტივებს საწარმოო პროცესს და საშუალებას იძლევა უფრო სრულად და ეფექტურად გამოვიყენოთ ნედლეული და მივიღოთ მაღალი სისუფთავის პროდუქტები, კერძოდ, წყალბადის მავნე მინარევის გარეშე, რაც წყალხსნართა ელექტროლიზის შემთხვევაში, ცხადია, გამორიცხულად უნდა მივიჩნიოთ. განსაკუთრებით ხაზგასასმელია ის გარემოება, რომ ლობილთა ელექტრომეტალურგია თითქმის სრულიად გამორიცხავს ისეთი დეფიციტური და ძვირფასი ნედლეულის ხარჯს, როგორცაა წყალი.

ლობილთა ელექტროლიზის მეთოდების გამოყენება განაპირობებს დანადგარების კომპაქტურობას. ისინი ათჯერ და ზოგჯერ ასჯერაც უფრო დიდი მწარმოებლობით გამოირჩევიან. ვიდრე, მაგალითად, წყალხსნართა ელექტროლიზის აბაზანები. დენის სიმკვრივე კათოდზე შესაძლებელია აღწევდეს 10 ა/სმ², ნაცვლად 0,03 ა/სმ² წყალხსნარების შემთხვევაში.

ლობილთა ელექტროლიზის მეთოდი ფართოდ ინერგება ლითონების რაფინირებისთვისაც. ამასთანავე იგი აღმოჩნდა ერთადერთი პრაქტიკულად გამართლებული ხერხი ისეთი აგრესიული ნივთიერების მისაღებად, როგორცაა ფტორი. ქიმიკოსებსა და მეტალურგებს ყველაზე უკეთ სწორედ ამ მეთოდის საშუალებით შეუძლიათ დააკმაყოფილონ ტექნიკის სხვადასხვა დარგის მოთხოვნილება როგორც დაბალი, ისე მაღალი ლობის ტემპერატურის მქონე მსუბუქ, მძიმე და

სხვა სპეციფიკური თვისებების მქონე სუფთა და იაფ საკონსტრუქციო მასალებზე. საკმარისია გავიხსენოთ იმავე ალუმინისა და შემდგომში კი მაგნიუმის მაგალითი. დღის წესრიგში დგას ნატრიუმის მისაღები აბაზანების სიმძლავრის მნიშვნელოვანი გაზრდა. მომავალში კი, როგორც ვარაუდობენ, უნდა ველოდეთ ტიტანისა და ლითიუმის წარმოებათა აღზევებას.



სურ. 2. ენერჯის ხარჯის განაწილება ელექტროლიზურ წარმოებათა დარგებს შორის

ზაზგასამელია ის გარემოებაც, რომ ღლობილთა ელექტროლიზის პროცესების შესწავლამ არაერთი უაღრესად საინტერესო, მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობის პრობლემის გადაწყვეტას მისცა ბიძგი. ბევრ შემთხვევაში მხოლოდ იონური ღლობილების სპეციფიკურ თვისებათა მეშვეობით გახდა შესაძლებელი ისეთი ტექნიკურად

მეტალურგიას და, კერძოდ, იონურ ლღობილთა ელექტროლიზის მე-
თოდებს უთუოდ მნიშვნელოვანი როლი განეკუთვნება. არის ყველა
მონაცემი იმისათვის, რომ ელექტროქიმიური წარმოებები ჩქარა ჩად-
გება უმთავრეს წარმოებათა რიგში. მათი საფუძველი კი არის ელექ-
ტროენერგია, ამიტომ, ცხადია, მრეწველობის ამ დარგის აღმავლობა
ხელსაყრელია იაფი ელექტროენერგიით მდიდარ ქვეყანაში. მაშასა-
დამე, საქართველოს, რომელსაც ენერჯის ეს პერსპექტიული წყარო
და ნედლეულის სათანადო რესურსებიც გააჩნია, აქვს შესაფერისი პი-
რობა მსუბუქი და იშვიათი ლითონების მეტალურგიის განვითარებისა-
თვის. ეს კი ჩვენი ტექნიკური კულტურის კიდევ უფრო მაღალ საფე-
ხურზე აყვანის საწინდარია.

ლ ლ ო ბ ი ლ თ ა ე ლ ე ქ ტ რ ო ლ ი ზ ი ს
თ ა ვ ი ს ე ზ უ რ ე ბ ა ნ ი

ქ ი მ ი ი ს გ ა რ ე შ ე გ ზ ა ე ლ ე ქ ტ რ ო ბ ი ს კ ე შ მ ა რ ი ტ ი
ბ უ ნ ე ბ ი ს შ ე ც ნ ო ბ ი ს ა კ ე ნ დ ა კ ე ტ ი ლ ი ა

მ. ლომონოსოვი

ე ლ ე ქ ტ რ ო ლ ი ზ ი ს ა რ ს ი ს შ ე ს ა ხ ე ბ. ლ ლ ო ბ ი ლ თ ა ე ლ ე ქ ტ რ ო ლ ი ზ ი ს ა კ მ ა ო დ მ ა ლ ა ლ ტ ე მ პ ე რ ა ტ უ რ ე ბ ზ ე, ზ ო გ ჯ ე რ 800—960°-ის ფარგლებში მიმდინარეობს. ეს გარემოება მუშაობის ძნელ პირობებს ქმნის — რამდენადმე რთულდება პროცესის მართვა და საწარმოო აგრეგატების მომსახურება, საგრძნობია ენერჯის ხარჯი ელექტროლიტის გამლღვალ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად, აპარატურა-დანადგარებისათვის საჭიროა კოროზიამდეგი მასალები და სხვ. ისმის კითხვა — რისთვის დაგვეჭირდა მიგვემართა გამლღვალი მარილებისათვის და რატომ არ შეიძლება ქიმიურად აქტიური ლითონების მიღება წყალხსნართა ელექტროლიზით, ისევე, როგორც ეს სპილენძის, ნიკელის, თუთიის, ქრომის, მანგანუმისა და სხვა ლითონების შემთხვევაში ხორციელდება?

სანამ ამ კითხვას ვუპასუხებდეთ. მოკლედ შევეხოთ ელექტროლიზის მექანიზმის ზოგიერთ მხარეს.

ქიმიური რეაქციის მუდმივი ელექტროდენით განხორციელების შესაძლებლობა ჯერ კიდევ 1803 წელს იყო დადგენილი ფიზიკოსის აკად. ვ. პეტროვის მიერ. დიდი ინგლისელი მეცნიერი და მკვლევარი მ. ფარადეი იყო პირველი, რომელმაც დაამუშავა ელექტროლიზის თეორიული საფუძვლები და ჩაოდენობრივად ჩამოაყალიბა შესაბამისი კანონზომიერებანი (1833). ამ კანონების თანახმად, მუდმივი ელექტროდენის ერთი და იგივე რაოდენობა მარტივი ან რთული ნივთიერების ეკვივალენტურ წონით რაოდენობებს გამოყოფს. ეს არის ბუნების ერთ-ერთი უზუსტესი კანონთაგანი; იგი არ არის დამოკიდებული ტემპე-

რატურაზე, წნევაზე, დენის სიმკვრივეზე, ელექტროდებისა და საელექტროლიზო აბაზანის ფორმასა და მასალაზე, ელექტროლიტის კონცენტრაციაზე და სხვ.

აღმოჩნდა, რომ ნებისმიერი ნივთიერების 1 გ-ეკვ. გამოსაყოფად ელექტრობის ერთი და იგივე რაოდენობაა საჭირო, სახელდობრ,

96 496 კულონი (ანუ $\frac{96496}{3600} = 26,8$ ა-ს.), რომელიც ფარადის რიცხვად

იწოდება.

ელექტროლიზის პროცესი ელექტრონების მეშვეობით ხორციელდება; მაგრამ ელექტრონების მონაწილეობა ყოველთვის არ განაპირობებს ელექტროლიზის მიმდინარეობას. გავიხსენოთ თუნდაც დენის გავლა ლითონებსა და თხევად ამიაკში, ელექტრონებით დასეტყვა ელექტრონულ-სხივურ ლუმენში და სხვ.

იმისათვის, რომ დენის გატარებას ელექტროლიზი მოჰყვეს, საჭიროა დამატებითი პირობები, უწინარეს ყოვლისა, იონებად დისოციირებული ხსნარის — ელექტროლიტის — არსებობა. ერთის შეხედვით შეიძლება უცნაურადაც კი მოგვეჩვენოს, მაგრამ ელექტროლიზი სწორედ იმ მოვლენის შედეგია, რომ ელექტროლიტის ხსნარებში ელექტრონებს არ შეუძლიათ მოძრაობა. იქ მხოლოდ ათასჯერ და ათიათასჯერ უფრო დიდი, დადებითად და უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების — იონების გადაადგილება ხდება. მასასადამე, თქმა იმისა, რომ ესა თუ ის ხსნარი დენს, ე. ი. ელექტრონების ნაკადს ატარებსო, საკმაოდ პირობითად უნდა ჩაითვალოს. მაშ როგორ ხორციელდება ხსნარებში ის პროცესი, რასაც ჩვენ „დენის გატარებას“ ვუწოდებთ?

ხსნად ნივთიერებათა უმრავლესობა — მარილები, მყავები, ტუტეები, როგორც ვიცით, წყლის მეოხებით იშლება, დისოციირდება შემდგენელ ნაწილებად — ქარბი უარყოფითი მუხტის მქონე „—“ ანიონებად და „+“ კათიონებად, რომელთაც ეს ელექტრონები წაერთვათ.

მუდმივი დენის წყარო — დინამომანქანა, აკუმულატორი ან დენის გამმართველი ელექტრონებს თითქოს ამოსწოვს, „ამოტუმბავს“ ანოდისაგან და გარე წრედით „წნეხავს“ მათ კათოდისაკენ. ეს, თავის მხრივ, იწვევს წონასწორობის დარღვევას ელექტროდის ზედაპირსა და ხსნარის იმ თხელ ფენას შორის, რომელიც უშუალოდ ეკვრის მას. ანიონები იძულებული არიან „ზედმეტი“ ელექტრონები გადასცენ ანოდს.

ვინაიდან ელექტრონების დაკარგვა ღანგვას ნიშნავს, ამიტომ ამბობენ, რომ ელექტროლიზის დროს ნივთიერება ანოდზე იჟანგება. წარ-

მოქმედებიან ნეიტრალური ატომები, რომლებიც შემდეგ მოლეკულადად ერთიანდებიან (ქლორი, ენგბადი და ა. შ.)¹.

მეორე ელექტროდის — კათოდის ახლო შრეში მოთავსებული კათიონები, შეივსებენ რა „დაკარგული“ ელექტრონების რაოდენობას, ნეიტრალურ ატომებად იქცევიან და ილექებიან კათოდზე (თუ კათიონი შედარებით დადებითი ელექტროდული პოტენციალის მქონე ლითონისაა) ან გამოიყოფიან აირის, მაგალითად, წყალბადის სახით; მაშასადამე, კათოდზე ანოდის საწინააღმდეგო პროცესი — ელექტრონების შექმნა, აღდგენა მიმდინარეობს. ამგვარად, ერთდროულად მიმდინარეობს ორი საპირისპირო ელექტროქიმიური რეაქცია ჯამში გვაძლევს ქიმიურ რეაქციას.

ელექტროლიზის დროს კათიონებს; ცხადია, იმდენივე ელექტრონი გადაეცემათ, რამდენიც წაერთმევათ ანიონებს.

პროცესის მსვლელობაში კათოდის არე ღარიბდება კათიონებით, ანოდის არე კი — ანიონებით. ამ მიზეზით ხდება პირველთა გადაადგილება კათოდისაკენ და მეორეებისა — ანოდისაკენ. მაგრამ მათი სიჩქარე საკმაოდ მცირეა — რამდენიმე სანტიმეტრს არ აღემატება წუთში, რაც უსაზღვროდ ნაკლებია იმ სიჩქარეზე, რომლითაც დენი (უფრო სწორად — ელექტრული არე) ვრცელდება ე. წ. პირველი რიგის გამტარში — ლითონის ღეროში ან მავთულში².

აქ არ შეიძლება ხაზი არ გაესვას ელექტროქიმიური რეაქციების განსაკუთრებულობას და თავისებურებას.

ელექტროდენი უაღრესად ძლიერი აღმდგენელი და დამჟანგველია: მისი მეოხებით შესაძლებელია ამ პროცესების ისეთი სიღრმით და სისრულით განხორციელება, რაც ჩვეულებრივი ქიმიური გზით მიუღწეველია.

დაჟანგვისა და აღდგენის რეაქციები სხვადასხვა სივრცეში მიმდინარეობს. მათ სიჩქარეს განსაზღვრავს არამარტო მორეაგირე ნივთიერებათა კონცენტრაცია და სარეაქციო გარემოს ტემპერატურა, არამედ ელექტროდული პოტენციალის სიდიდე, ცალკეული ელექტროდის მასალის თვისება და ზედაპირის მდგომარეობა. ყოველივე ეს საშუალებას იძლევა ზუსტად ვარეგულიროთ რეაქციის სიჩქარე, სელექ-

¹ ივლისხმება, რომ ანოდი უხსნადი ნივთიერებაა (ნახშირი ან კეთილშობილ ლითონი — პლატინა, ოქრო და სხვ.). როდესაც ანოდი არაკეთილშობილი ხსნად ლითონია, მაშინ მისი ატომები თვითონ კარგავენ ელექტრონებს, იყენებიან და ხსნარში გადადიან (ანოდი იხსნება).

² ერთის შეხედვით საკვირველად შეიძლება ჩათვალოს ისიც, რომ არც ელექტრონების მოძრაობის სიჩქარეა ისეთი, როგორსაც შეიძლება მოველოდეთ: იგი 100 კმ-ს არ აღემატება წამში.

ტიურობა და მიმართულება, მივიღოთ საჭირო სისუფთავის პროდუქტი მაღალი გამოსავლით.

დენის გადატანაში თუმცა ყველა იონი მონაწილეობს, მაგრამ ელექტროდზე მხოლოდ ის იონი განიმუხტება, რომელიც ნაკლებ ენერგიას თხოვლობს თავისი ელექტრული მუხტის გადასაცემად.

მაშასადამე, ელექტროლიზის პროცესის ჩასატარებლად საჭიროა ნივთიერების დისოციირება იონებად, რაც გამხსნელის, ჩვეულებრივად, წყლის მეშვეობით ხორციელდება.

მაგრამ იმის გამო, რომ მსუბუქი ლითონები ხასიათდება დიდი ქიმიური აქტივობით, მათი გამოყოფა სათანადო მარილების წყალხსნარებიდან შეუძლებელია — ელექტროლიზის შედეგად ლითონის მაგივრად კათოდზე წყალბადი განიმუხტება, ვინაიდან ამ უკანასკნელის გამოყოფისათვის საჭირო ენერგია რეალურ პირობებში გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე იმ ლითონის განმუხტვის ენერგია, რომელიც ამ კონკრეტულ პირობებში უფრო მაღალი ქიმიური აქტივობით ხასიათდება. ასე რომ არ იყოს და კათოდზე, მაგალითად, რომელიმე ტუტე ან ტუტემიწა ლითონი გამოილექოს, იგი მაინც მყისვე ირეაგირებდა წყალთან იმავე წყალბადის გამოყოფით.

ეს გარემოება გვადიქვლებს ქიმიურად აქტიური მსუბუქი ლითონების მისაღებად მივმართოთ ისეთ ელექტროლიტებს, რომლებიც წყალბადის თავისუფალ იონებს არ შეიცავენ. ასეთებიცაა ლღობილები — გამლღვალი მარილები, ჟანგეულები და სხვ.

ლღობილთა ელექტროლიზის პროცესებს ბევრი რამ აქვს საერთო წყალხსნართა ელექტროლიზთან:

1. ორივე შემთხვევაში სამართლიანია ფარადეის კანონები;
2. ერთნაირია შესაბამის იონთა ვალენტობა და, მაშასადამე, მათი ელექტროქიმიური ეკვივალენტები;
3. ელექტროლიზი ხორციელდება ნივთიერების დისოციირების ხარჯზე და იმავე მექანიზმით, რაც წყალხსნართა ელექტროლიზის დროს;
4. ელექტროლიტში ჩაშვებული ლითონის ზედაპირსა და ელექტროლიტს შორის ჩნდება ორმაგი ელექტრული შრე;
5. ლღობილებში შესაძლებელია ისეთივე ტიპის გალვანურ ჯაჭვების წარმოქმნა, როგორც წყალხსნარებში;
6. გამლღვალი მარილების შემთხვევაშიც გვაქვს დაშლის ძაბვა და პოლარიზაციისა და დეპოლარიზაციის გარკვეული ელექტრომამოძრავებელი ძალები.

ამასთანავე გამლვალი მასების ელექტროლიზის პროცესი ბევრ თავისებურებითაც ხასიათდება:

1. ელექტროლიტის დისოციირება იონებად ხდება არა წყლის, არამედ მაღალი ტემპერატურის მეშვეობით.

2. შესაძლებელია ნივთიერებათა მაღალი კონცენტრაციების შექმნა, რაც სხვა შემთხვევაში მიუღწეველია.

3. ლობილთა ქიმიური აქტივობა განაპირობებს როგორც ძირითადი ელექტროლი პროცესის ყველა სტადიის, ისე არასასურველი თანამდევი რეაქციების სწრაფად მიმდინარეობას.

4. ლობილთა ელექტროლიზისათვის დამახასიათებელია ე. წ. ანოდური ეფექტისა და ლითონთა ხსნადობის მოვლენა (იხ. ქვევით).

5. ელექტროლიზს, როგორც წესი, თან ახლავს დეპოლარიზაციის პროცესი.

6. ლობილებში სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალის სიდიდის ცნებას არ ახასიათებს ისეთი გარკვეულობა, როგორც წყალხსნარებში.

7. ელექტროქიმიური კინეტიკური კვლევა შესაძლებელია ტემპერატურის ფართო ინტერვალში.

მაღალი ტემპერატურები, როგორც აღინიშნა, მკვეთრად ზრდის რეაქციათა სიჩქარეს, რის შედეგადაც ელექტროლიტი და ელექტროლიზის პროდუქტები უფრო ენერგიულად რეაგირებენ ერთმანეთთან და ჰაერთან, იწვევენ ელექტროდებისა და აბაზანის მასალების კოროზიას და სხვა არასასურველ მოვლენებს; ყოველივე ამას, ცხადია, გარკვეული სირთულე შეაქვს პროცესის მიმდინარეობაში. ამიტომ ცდილობენ, რათა შესაძლებელი გახადონ ელექტროლიზის ჩატარება შედარებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში. ამასთან დაკავშირებით ერთ-ერთი მთავარი პრობლემაა ლობის დაბალი ტემპერატურის მქონე ელექტროლიტის შედგენილობის შერჩევა.

ელექტროლიტად გამოყენებულ მარილთა ნარევები ამასთანავე სხვა თვისებებითაც უნდა გამოირჩეოდნენ:

1. არ უნდა ართულებდნენ ელექტროქიმიურ პროცესს;

2. ელექტროლიტს უნდა ახასიათებდეს კარგი ელექტროგამტარობა, დენის მაღალი კრიტიკული სიმკვრივე, მცირე სიბლანტე და დაბალი ორთქლის დრეკადობა;

3. ლობილის კუთრი წონა საგრძნობლად უნდა განსხვავდებოდეს კათოდზე გამოყოფილი ლითონის კუთრი წონისაგან;

4. თითოეული კომპონენტი უნდა იყოს ხელმისაწვდომი, იაფი და არ იწვევდეს არასასურველ მოვლენებს — ჰიდროლიზს, აპარატურისა და ამონაგის კოროზიას და სხვ.

უფრო კარგად რომ გავითვალისწინოთ ამ მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილების შესაძლებლობანი, საჭიროა ვიცოდეთ როგორ იცვლება სუფთა მარილებისა და მათი ნარევების თვისებები ტემპერატურის ამა თუ იმ მონაკვეთში.

გამლღვალი მარილების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებები. ელექტროლიზის პროცესის ინტენსიფიკაციის მთავარი პირობაა ლობილის მაღალი ელექტროგამტარობა.

ცნობილია, რომ მყარი მარილი დენს თითქმის არ ატარებს, მაგრამ თუ მას გავალღობთ, უკეთესი ელექტროგამტარობაც კი შეუძლია გამოამყდუნოს, ვიდრე იმავე მარილის წყალხსნარს აქვს. გამლღვალი კალიუმქლორის ელექტროგამტარობა, მაგალითად, ოცდაოთხჯერ აღემატება ამავე მარილის 1 ნ წყალხსნარის ელექტროგამტარობას (სათანადოდ 2,42 და 0,1 ომ⁻¹ სმ⁻¹).

დადგენილია, რომ იონური კრისტალური გისოსის მქონე ლობილებს უკეთესი ელექტროგამტარობა აქვთ, ვიდრე კოვალენტური ბმის მოლეკულური კრისტალური გისოსის მქონე მარილებს. ბერილიუმის, ალუმინისა და ტიტანის გამლღვალი ქლორიდები, მაგალითად, დენს პრაქტიკულად არ ატარებს.

ელექტროგამტარობის სიდიდეს უმრავლეს შემთხვევაში კათიონის ძვრადობა განსაზღვრავს, რადგან, მცირე რადიუსის გამო, მას აქვს უნარი ადვილად გადაადგილდეს შედარებით დიდი რადიუსის მქონე ანიონებს შორის არსებულ სივრცეებში. ამავე მიზეზით არის, რომ ელექტროგამტარობა ეცემა ლითიუმიდან ცეზიუმის მიმართულებით (ცხრ. 1). კათიონის ზომისა და მასის გაზრდა აძნელებს და ზღუდავს მისი მოძრაობის ინტენსიობას. რაც შეეხება საპირისპირო მოვლენას ტუტემიწა ლითონების შემთხვევაში, აქ უკვე განმსაზღვრელი აღმოჩნდა კათიონის მაპოლარიზებელი ძალის შემცირება ანიონის მიმართ.

ლობილთა ელექტროგამტარობის ცვლილება ტემპერატურის მიხედვით ხასიათდება მეორე და მესამე ხარისხის განტოლებით:

$$\chi_t = \chi_0 [1 - \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 \dots]$$

მარილთა ნარევების ელექტროგამტარობა არ ემორჩილება ადტიურობის კანონს. იგი დამოკიდებულია სისტემის შემდგენელი კომპონენტების ურთიერთმოქმედებაზე. ხდება ხოლმე, რომ ორი არა-ელექტროგამტარი მარილის შერევა ელექტროგამტარ სისტემას გვაძლევს. მაშასადამე, წარმოიქმნება ახალი, კონგრუენტული ქიმიური ნაერთი, რომელიც კათიონად და კომპლექსურ ანიონებად დისოცირდება; მაშასადამე, კოვალენტური კავშირი იონური ბმით იცვლება.

ელექტროლიზის პრაქტიკისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ლლო-
ბილთა სიმკვრივის ცვლილებას ტემპერატურის მიხედვით. ეს თავისე-
ბა უპრავლესი მარილებისათვის სწორხაზოვანი ფუნქციით გამოისა-
ხება:

$$d_1 = d_2 + a(t - t_2),$$

სადაც d_2 არის მარილის სიმკვრივე ლლობის წერტილის ახლო
ტემპერატურაზე (t_2).

ცხრილი 1

ზოგიერთი გამლვალი ნაერთის ფიზიკურ-ქიმიური კონსტანტები

ნაერთი	ლლობს ტემპერა- ტურა, °C	დუილის (ამოორთქელს) ტემპერატურა (°C) ნაწერი ორთქელს დრკადობს დროს (მმ 3 წ. სვ.)				სმკვრივე, გ/სმ ³	ელექტროკამტარობა; x ⁻² იმ-1 სმ-1	სობლანტი, რ. 10 ⁻³ პას.	ზედაირული დაქი- მელობა, მ. 10 ³ , ჯ. მ-3
		1	10	100	760				
LiCl	614	785	934	1130	1380	1,4860	5,864	1,59	127,9
NaCl	800	863	1014	1216	1467	1,9438	3,660	1,38	113,5
NaF	995	1075	1238	1452	1705	1,542	4,937		185,5
KCl	770	819	965	1162	1406	1,5178	2,203	1,14	100,6
KF	853	884	1038	1246	1503	1,9102	3,554		139
CsCl	642	745	382	1068	1301	2,7575	1,250	1,28	88,8
BeCl ₂	404	303,2	351,3	409,3	481,3	1,484	7,55 · 10 ⁻⁴		
MgCl ₂	714	776	925	1137	1417	1,675	1,038		66,7
CaCl ₂						2,0783	2,059	3,34	145,9
CaF ₂	1418	1625	1850	(2145)	(2500)	2,514			229
BaCl ₂	960	(1080)	1240	1505	1825	3,1704	2,058	4,60	168,9
MnCl ₂	650	729	844	1017	1231	2,35	1,490		
ZnCl ₂	283				739	2,514	0,00268	2900	
NaOH	323	738	896	1111	1378	1,781	2,17	3,79	53,8
KOH	405	718	860	1060	1326	1,727	2,51	2,21	

შენიშვნა: სიმკვრივის, ელექტროკამტარობის, სობლანტისა და ზედაირული დაქიმელობის მნიშვნელობა მოცემულია ნაერთის ლლობის წერტილის ახლო ტემპერატურაზე.

ტემპერატურული კოეფიციენტის მნიშვნელობა ნაერთის ბუნე-
ბაზეა დამოკიდებული.

ვინაიდან იონურ ნაერთებში შეჭიდულობის ძალა მეტია, ამიტომ
ტემპერატურის გაზრდით ისინი ნაკლებად ფართოვდებიან, ვიდრე
მოლეკულური ტიპის ნაერთები, მაგალითად, ბერილიუმქლორი. სწო-

რედ ამაზე მიუთითებს უკანასკნელის ტემპერატურული კოეფიციენტის მაღალი მნიშვნელობა.

ლლობილთა ნარევების სიმკვრივე ყოველთვის არ ემორჩილება ადიტიურობის კანონს, განსაკუთრებით, თუ სისტემაში ქიმიური ნაერთები წარმოიქმნება, რასაც მოცულობის შემცირებაც კი შეუძლია გამოიწვიოს.

ლლობილთა ნარევებში მომხდარ სტრუქტურულ ცვლილებებზე მიუთითებს სიბლანტის ცვლის ხასიათიც. ამ თვისების ცოდნას გარკვეული მნიშვნელობა აქვს ტექნოლოგიური პროცესისათვის, ვინაიდან სიბლანტის გაზრდა იწვევს ელექტროგამტარობის შემცირებას, ხელს უშლის კათოდზე გამოყოფილი თხევადი ლითონის წვეთების გამსხვილებას, აძნელებს ანოდური აირების ბუშტუკების გამოცალკევებას ელექტროლიტისაგან და სხვ. ყოველივე ეს საგრძნობლად ართულებს პროცესს და ამცირებს დენით გამოსაუალს.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ლლობილები ისეთივე მოძრავი სითხეებია, როგორც წყალი და წყალხსნარები. ტემპერატურის აწევა საგრძნობლად ამცირებს სიბლანტეს; ეს გასაგებიცაა: ამ დროს ნაწილაკების ურთიერთკავშირი სუსტდება, ხოლო მანძილი მათ შორის ფზრდება. მნიშვნელობა აქვს დისოციირების ხარისხის მატებასაც. მარილები, რომლებიც ავტოკომპლექსებისმაგვარ რთულ ნაწილაკებს წარმოქმნიან (CaCl_2 , MgCl_2), მომეტებული სიბლანტით ხასიათდებიან. სიბლანტეს საკმაოდ ზრდის ყანგეულების დამატება; ამ მხრივ განსაკუთრებით მკვეთრად მოქმედებს მყარი ნაწილაკების (კრისტალების) წარმოქმნა.

სითხის ზედაპირზე მოქცეული ნაწილაკები ძირითადად ერთმხრივ მიზიდულობას განიცდიან. სითხე თითქოს შემოფარგლულია თხელი აფსკით, რომელიც ცდილობს მის შეკუმშვას. ახალი ზედაპირის ერთეული ფართის წარმოსაქმნელად საჭიროა გარკვეული მუშაობის დახარჯვა, რაც ზედაპირულ დაჭიმულობად იწოდება.

პრაქტიკისათვის უფრო მნიშვნელოვანია გამლღვალი მასის ზედაპირული დაჭიმულობა მყარ სხეულთან შეხების საზღვარზე; მისი სიდიდე განისაზღვრება შესველების ნაპირა კუთხით, რომელსაც ქმნის სითხის წვეთის ზედაპირისადმი გავლებული მხები (სურ. 4)). რაც უფრო მახვილია ეს კუთხე, მით ნაკლებია ფაზათა შორის დაძაბულობა და მით უფრო კარგად ასველებს სითხე მყარ სხეულს (განირობმევა მასზე), წინააღმდეგ შემთხვევაში კი სითხე წვეთის სახით იკუმშება.

გამოკვლევამ აჩვენა, რომ ტუტე ლითონთა ქლორიდები უკეთ ასველებს, კერძოდ, ნახშირის ზედაპირს, ვიდრე ტუტემიწა ლითონების ჰალოგენიდები. მასასადამე, პირველ შემთხვევაში ნაწილაკებს

გადაწყვეტის საქმეშიც — ლობილის აორთქლების ინტენსივობის დადგენისა და, მაშასადამე, მისი დანაკარგების შემცირების ღონისძიებათა შემუშავებაში.

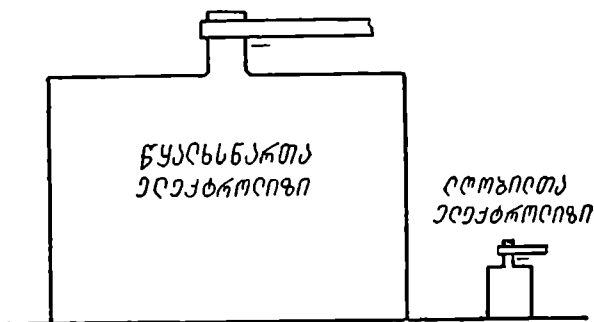
სუფთა იონური ნაერთები უფრო მაღალ დუღილის ტემპერატურით და, მაშასადამე, ორთქლის ნაკლები დრეკადობით ხასიათდებიან. ეს გარემოება ამ ტიპის ნაერთების ნაწილაკების ურთიერთდამაკავშირებელი ძალებით არის გაპირობებული. კოვალენტური და მოლეკულური ნაერთების ორთქლის დრეკადობა კი იმავე ტემპერატურებზე, როგორც წესი, გაცილებით მეტ სიდიდეს აღწევს.

მარილთა ნარეგების ორთქლის პარციალური წნევა რეალურ პირობებში რამდენადმე განსხვავდება რაულის კანონით ნავარაუდები წნევისაგან. ამ კანონიდან დაღებითი გადახრა ნაერთების მტკიცე ბუნებაზე მიუთითებს, უარყოფითი გადახრა კი იმის მაჩვენებელია, რომ კომპონენტებს შორის ქიმიური ურთიერთქმედება ხდება.

ელექტროლიზის პირობები და დენით გამოსავალი. ლობილთა ელექტროლიზის პროცესის ნორმალურ მსვლელობას, ელექტროლიტის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების გარდა, მრავალმხრივ განაპირობებს სხვა ფაქტორების ერთობლიობაც. მათ შორის განსაკუთრებული ყურადღების ღირსად უნდა ჩაითვალოს დენის სიმკვრივე ელექტროდის, კერძოდ, კათოდის ერთეულ ფართზე. ამ მხრივ გამლღვალი მარილების ელექტროლიზი არსებითად განსხვავდება წყალხსნართა ელექტროლიზისაგან, სადაც ეს სიდიდე გაცილებით (საშუალოდ ასჯერ) ნაკლებია. სხვანაირად რომ ვთქვათ, დენის ერთი და იმავე რაოდენობის გასატარებლად ლობილთა ელექტროლიზის შემთხვევაში ასჯერ უფრო მცირე ფართის კათოდი შეიძლება ავილოთ. ვიდრე წყალხსნართა ელექტროლიზის დროს (სურ. 6). მაშასადამე, ძირითადი დანადგარი — ელექტროლიზური გაცილებით კომპაქტური შეიძლება იყოს. ეს, ცხადია, დიდმნიშვნელოვანი ფაქტორია.

დენის სიმკვრივის მაღალ მნიშვნელობას ძირითადად განაპირობებს ის გარემოება, რომ გამლღვალი მარილების ელექტროლიზის დროს ლითონი განიმუხტება თხევადი კათოდის ზედაპირზე, რაც აადვილებს დიფუზიას და გამოირიცხავს კრისტალიზაციის პროცესთან დაკავშირებულ სიძნელებებს. ამან თავის მხრივ გამოიწვია აბაზანის კონსტრუქციული ელემენტების თავისებურება. კათოდზე გამოყოფილი ლითონი გროვდება აბაზანის ფსკერზე ან ამოტივტივდება ელექტროლიტის ზედაპირზე. პირველ შემთხვევაში ანოდური აირებისა და კათოდური ლითონის ურთიერთგამოცალკევება გაცილებით ადვილი საქმეა, ვიდრე მეორე შემთხვევაში, როდესაც საპირისპირო ქიმიური ბუნების მქონე ისეთი აგრესიული ნივთიერებები, როგორი-

ცაა ქლორი და მაგნიუმი ან ქლორი და ნატრიუმი, ერთი მიმართულებით გამოიყოფა. ლითონის დაჟანგვისა და დანაქარების შემცირების მიზნით, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში შემუშავებულია ანოდური და კათოდური პროდუქტების საიმედოდ გაყოფის ღონისძიებები. დანაქარებთან ბრძოლას მით უფრო დიდი მნიშვნელობა აქვს, რომ მსუბუქი ლითონების ელექტროქიმიური ეკვივალენტების მცირე მნიშვნე-



სურ. 6. ერთი და იმავე დენის ძალის გასატარებლად საჭირო კათოდის ფართობი

ნელობის გამო, მათ გამოყოფაზე ელექტროენერჯის დიდი რაოდენობა იხარჯება. 1 კგ ალუმინის ან მაგნიუმის მისაღებად, შავალითად, 16—18 კვტ-ს ელექტროენერჯია საჭირო, მაშინ, როდესაც წყალხსნარებიდან იმავე წონის ნიკელის ან თუთიის გამოლექვა 5—6-ჯერ ნაკლებ ენერჯიას მოითხოვს.

ფარადეის კანონები, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ღოლილთა ელექტროლიზის შემთხვევაშიც ზუსტად არის დაცული; 26,8 ა-სთ აქაც მარტივი ან რთული ნივთიერების ერთ გ-ეკვ. გამოყოფს. მაგრამ არც წყალხსნარებისა და არც გამლღვალი მარილების ელექტროლიზის დროს დენის გამოყენების ხარისხი, ე. ი. ელექტრობის ის ნაწილი, რაც ჩვენთვის სასურველი პროდუქტის მიღებაზე იხარჯება და რასაც პირობითად დენით გამოსავალს უწოდებენ³, პრაქტიკულად

³ დენით გამოსავალი შეიძლება განისაზღვროს, როგორც ელექტროლზე ფაქტიურად გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობის ფარდობა ამავე ნივთიერების იმ თეორიულ რაოდენობასთან, რაც ფარადეის კანონების შესაბამისად შეიძლებოდა მიგვეღო.

100%-ს არასოდეს არ აღწევს. კათოდზე ზოგჯერ ლითონის მოსალოდნელი რაოდენობის მხოლოდ ნახევარი გამოილექება ხოლმე. მაგრამ ეს სრულებითაც არ ნიშნავს იმას, რომ ფარადის მიერ ჩამოყალიბებული კანონები მცდარია. დენით გამოსავლის შემცირება არის შედეგი სხვადასხვა მეორადი პროცესებისა, რაც ლობილთა ელექტროლიზისათვის არის დამახასიათებელი. ასეთების რიცხვს მიეკუთვნება, კერძოდ, კათოდზე გამოყოფილი ლითონის გახსნა გამლღვალ ელექტროლიტში, ანოდური ეფექტის მოვლენა, ანოდური და კათოდური პროდუქტების გაბნევა (დიფუზია) ლობილში, მათი ერთმანეთთან და აბაზანის მასალებთან რეაგირება და სხვ. თვითეული ამ მოვლენათაგანი, თავის მხრივ, დამოკიდებულია როგორც ელექტროლიზის პირობებზე (ტემპერატურა, დენის სიმკვრივე, ელექტროლიტის სიბლანტე და სხვ.), ისე აბაზანის კონსტრუქციული ელემენტების გეომეტრიულ პარამეტრებზე, რის შესახებაც ცალკე გვექნება ლაპარაკი.

ლითონი იხსნება თავის საეკვარილში. 1907 წელს ცნობილმა ინგლისელმა მეცნიერმა ჰ. დევომ ნატრიუმის ტუტის ელექტროლიზის დროს საკვირველი მოვლენა შეამჩნია: ლითონი იხსნებოდა ელექტროლიტში და მას მოწითალო-მოყავისფროდ ლებავდა. იგივე განმეორდა კალიუმის ტუტის ლითონურ კალიუმთან შედობისას.

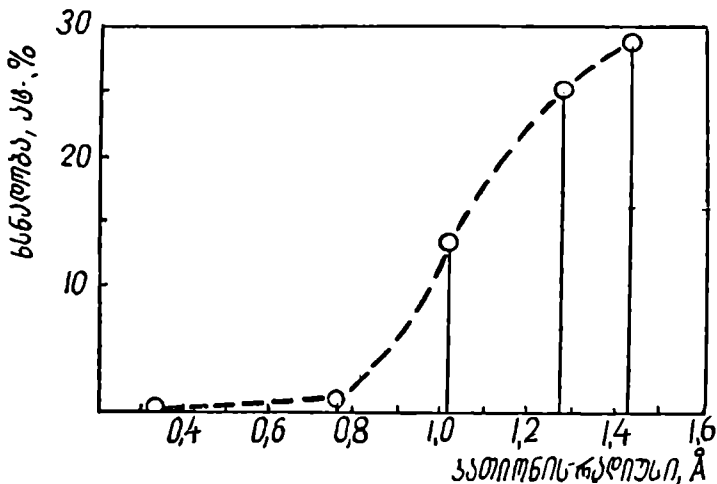
ლითონთა ხსნადობამ სხვა მკვლევართა ყურადღებაც მიიპყრო. ეს თვისება მეტ-ნაკლებად ყველა ლითონის დამახასიათებელი აღმოჩნდა. ხსნადობის მოვლენა უშუალო დაკვირვებითაც კარგად შეიმჩნევა, განსაკუთრებით ელექტროლიზის პროცესის მიმდინარეობის დროს. ლითონის ზედაპირიდან (კათოდიდან) ლობილში იწყებს გავრცელებას მუქი ფერის დინება, რომელიც თანდათან ავსებს მთელ მოცულობას. გამჭვირვალე მარილი შესამჩნევად მუქდება: ტყვია, მაგალითად, თავის გამლღვალ ქლორიდს ყავისფრად ლებავს, კადმიუმი — წითლად, ლითიუმი — შავად, თუთია — მუქ ლურჯად და ა. შ.

კიდევ უფრო საკვირველია ის გარემოება, რომ ლობილი, რომელიც ჩვეულებრივად მაღალი ელექტროგამტარობით ხასიათდება, ლითონით გაჯერების შემდეგ დენს საერთოდ აღარ ატარებს. ელექტროლიზის პროცესი წყდება, ხოლო დენით გამოსავალი შესამჩნევად მცირდება.

ლითონების ლობილებში გახსნას პირველ ხანებში ლითონის აორთქლებასა და ე. წ. „ლითონური ბურუსის“ (პიროზოლის) წარმოქმნას მიაწერდნენ. მაგრამ გამოირკვა, რომ ორთქლის მაღალი დრეკადობის მქონე ლითონების — კადმიუმისა და თუთიის ხსნადობა თავის მარილში ათასჯერ ნაკლებია, ვიდრე ტუტემიწა ლითონებისა, რომელთაც გაცილებით დაბალი ორთქლის დრეკადობა ახასიათებთ.

მეცნიერთა უმრავლესობა შემდეგ იმ აზრს მიემხრო, რომ ლითონის ხსნადობა გამლღვალ მარილში დაბალი ვალენტობის მქონე კათიონის, ე. წ. სუბნაერთების წარმოქმნის შედეგია.

ამგვარი ნაერთების წარმოქმნის უნარი ამა თუ იმ ხარისხით ყველა ლითონისათვის არის დამახასიათებელი. მათი უმრავლესობა და განსაკუთრებით დ. მენდელეევის პერიოდული სისტემის პირველი სამი ჯგუფის ელემენტები, როგორც ცნობილია, ჩვეულებრივ პირობებში გვაძლევენ ნაერთებს, სადაც ვალენტობა თანხვედბა ჯგუფის ნომერს. მაღალ ტემპერატურებზე კი ეს ელემენტები ამჟღავნებენ უნარს შესამჩნევი რაოდენობით წარმოქმნან დაბალვალენტიანი ნაერთებიც⁴. ეს მოვლენა შეიძლებოდა აგვეხსნა ამა თუ იმ ლითონის ატომის სწრაფვით — უწინარეს ყოვლისა დაკარგოს ის ელექტრონი, რომლის



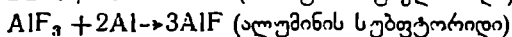
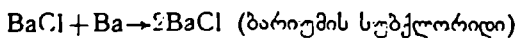
სურ. 7. IIa ჯგუფის ლითონთა ხსნადობა ინდივიდუალურ ქლორიდებში (1000°C)

იონიზაციის ენერგია ნაკლები სიდიდისაა. ალუმინი, მაგალითად, შედარებით ადვილად გასცემს გარე ორბიტის $3p$ ელექტრონს, რომელსაც იონიზაციის უფრო მცირე პოტენციალი აქვს, ვიდრე შიგა ორბიტის რომელიმე ელექტრონს; წარმოიქმნება ერთვალენტიანი ალუმინის ნა-

⁴ ამ მხრივ ზოგიერთ შემთხვევაში ერთგვარ გამონაკლისს წარმოადგენს ბერილიუმი და მაგნიუმი. ამ უკანასკნელისათვის, მაგალითად, სუბიოდინი და სუბბრომიდი ცნობილი არ არის.

ერთი — AlF , AlCl , Al_2O და სხვ. ამგვარივე ნაერთების წარმოქმნა ადვილად უნდა შეეძლოს ტუტემიწა ლითონებსაც. საერთოდ კი პერიოდულ სისტემაში დაბალვალენტიანი ნაერთების წარმოქმნა მოსალოდნელია IV, V, VI, VII, VIII ჯგუფის ელემენტებისთვისაც. ამასთან პირველ ორ ჯგუფში ალბათობა ერთნაირია, დანარჩენებში კი უფრო დაბალი ვალენტობის არსებობაა ნავარაუდევო. მაშასადამე, ამავე მიზეზით ლითონსაც შეუძლია გაიხსნას თავის „ნორმალურ“ მარილში და მოგვეცეს ჰემმარიტი ხსნარი. ეს ნაერთები შეფერილნი უნდა იყვნენ (უფერულნი არიან მხოლოდ კეთილშობილი აირების ატომთა ანალოგიური ელექტრონული გარსების მქონე იონები). მართლაც, პრაქტიკულად გამოყოფილ სუბნაერთებს ესა თუ ის შეფერილობა ახასიათებს.

მაშასადამე, „ნორმალური“ ვალენტობის მქონე მარილის ლოზილში ჩაშვებული ლითონი თითქოს უნდა ურთიერთქმედებდეს მასთან სუბნაერთის წარმოქმნით:



ცხრილი 2

მეტალთა ხსნადობა გამლღვალ ფტორიდებსა და ქლორიდებში

მეტალი	მარილი	ტემპერატურა, C	მეტალის ხსნადობა, მოლ. %	მეტალი	მარილი	ტემპერატურა, C	მეტალის ხსნადობა, მოლ. %
Li	LiF	847	1,0	Mg	MgC_2	720	0,55
	LiCl	610	0,5		Al	Na_3AlF_6	1060
Na	NaF	990	3,0	La	LaCl_3	1000	12,0
	NaCl	811	2,8	Ce	CeCl_3	900	9,0
K	KF	850	10,5	Zn	ZnCl_2	500	0,18
	KCl	770	9,0	Cd	CdCl_2	550	14,0
Ca	CaF_2	1414	25,5	Pb	PbCl_2	600	0,020
	CaCl_2	820	2,7	Sn	SnI_2	500	0,0032
Sr	SrF_2	1000	24,6	Sb	SbCl_3	270	0,018
	SrCl_2	1000	23,0	Bi	BiCl_3	202	28,0
Ba	BaF_2	1050	21,9				
	BaCl_2	1650	30,6				

ლითონთა ხსნადობა გამლღვალ მარილებში მნიშვნელოვანი ფაქტორია როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული თვალსაზრისით. იგი

ძირეულად ცვლის ღლობილის თვისებებს, ამცირებს დენით გამოსავალს და სხვ. ამიტომ ხსნადობის მექანიზმის ახსნა ბევრმა მკვლევარმა სცადა. მხედველობაშია მისაღები, კერძოდ, ამგვარი ხსნადობის ახსნა-იონურ-ელექტრონული თეორიით. ამ თეორიის თანახმად, ღლობილში მეტალის ქარბი ატომების შეტანა იწვევს მათ დაიონებას და ელექტრონების გადაადგილებას გამტარობის ზონაში. მიიღება ქეშმარიტი ატომ-მოლეკულური (იონურ-ელექტრონული) ხსნარი.

ლითონთა ღლობილებში ხსნადობის არსის შეცნობა მაღალ ტემპერატურაზე კვლევათა ჩატარების სიძნელით და თვით ხსნადობის მოვლენის სირთულით, კერძოდ, წარმოქმნილი სისტემების ნაირგვარი ხასიათით არის გაპირობებული. პრაქტიკულ დაკვირვებათა საფუძველზე მოხერხდა ზოგიერთი საერთო კანონზომიერების დადგენა:

1. დაბალვალენტიანი ნაერთების მიღებას ხელს უწყობს მაღალი ტემპერატურა, ტემპერატურის დაწვეით კი სუბნაერთი იშლება ლითონად და „ჩვეულებრივ“ ნაერთად.

მარილის სწრაფი გამყარების გამო ლითონის მცირე ნაწილაკები ვერ ასწრებენ დიდ აგრეგატებად შეერთებას. მარილში რჩება კოლოიდური ზომის ნაწილაკები. მათი არსებობა ულტრამიკროსკოპით დასტურდება.

2. ლითონის ხსნადობა პირდაპირ კავშირში აღმოჩნდა კათიონის რადიუსის სიდიდესთან; რადიუსის ზრდასთან ერთად მცირდება გარე ელექტრონების კავშირი ატომგულთან, რაც აადვილებს მათი მოწყვეტის შესაძლებლობას.

3. რაც უფრო რთულია ატომის ელექტრონული გარსების აგებულება, მით მეტია ხსნადობა.

4. ლითონთა ხსნადობა შეიძლება დაუკავშიროთ მარილის ელექტროლიზური დისოციაციის ხარისხს („თავისუფალ“, მოუწყვრიგებელ იონთა რაოდენობის ფარდობა იონების შესაძლებელ რაოდენობასთან).

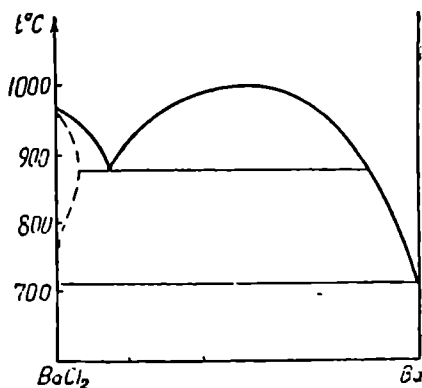
მცირედ დისოციირებულ მარილში, მაგალითად, ბერილიუმქლორში ხსნადობა თითქმის არ შეიმჩნევა, მაშინ, როდესაც კარგად დისოციირებადი ბარიუმქლორის შემთხვევაში ეს სიდიდე 52%-ს აღწევს.

5, ანიონის რადიუსის ზრდასთან ერთად ლითონთა ხსნადობა თითქოს უნდა მცირდებოდეს, მაგრამ პრაქტიკულად ეს ასე არ არის, რასაც იონთა პოლარიზაციის მოვლენით ხსნიან. მცირე რადიუსის მქონე იონებისათვის პოლარიზაციას იმდენად არსებითი გავლენა არა აქვს და ლითონთა ხსნადობა ფტორიდან იოდის მიმართულებით მცირდება.

6. ერთნაირი რადიუსების მქონე ლითონთა კათიონებისათვის ხსნადობა იზრდება ანიონის რადიუსის კათიონის რადიუსთან ფარდობის ზრდასთან ერთად.

7. ლითონის მნიშვნელოვანი გახსნა ზრდის კუთრ ელექტროწინაობას და ორთქლის ჭამურ დრეკადობას. ეს მოვლენა ნაერთში მოლეკულური ბმის ხარისხის გაზრდით უნდა აიხსნას.

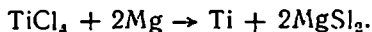
8. ნეიტრალური ლითონის შეყვანა ამცირებს ხსნადობას, რადგან იცვლება მაღალი და დაბალი ვალენტობის კათიონების კონცენტრაცია და აქტივობა. მნიშვნელობა აქვს კომპლექსების წარმოქმნასაც. ხსნადობის შემცირება გამოწვეულია გარეშე კათიონების პოლარიზაციული მოქმედებით. თუ დამატებულ კათიონს უფრო მძლავრი ელექტროველი აქვს, იგი ასუსტებს გახსნილი კათიონისა და ანიონის კავშირს, რითაც ზრდის ხსნადობას.



სურ. 8. Ba—BaCl₂-ის სისტემის ლობის მრუდი

9. ხსნადობის შესამცირებლად ლითონის ფაზას უფრო ელექტროდადებითი კომპონენტით განაზავებენ ხოლმე.

10. თუ ლობილი აღებული ლითონის კათიონს არ შეეცავს, შეიძლება უფრო რთული ლითონთერმული რეაქცია ჩატარდეს, ე. ი. მოხდეს ერთი ლითონის მეორეთი ჩანაცვლება:



ასეთ რეაქციებს მნიშვნელოვანი ტექნიკური გამოყენება აქვთ, კერძოდ, ტიტანის, ცირკონიუმისა და სხვა ლითონების მიღებისათვის.

11. დიდი ხსნადობის შემთხვევაში სისტემა შეიძლება ლუბის დიაგრამით დახასიათდეს ($Ba-BaCl_2$; $Ca-CaCl_2$; $La-LaCl_3$ და სხვ.).

სასარგებლო ნაკლი. გამლღვალ მარილებში კარგად იხსნება არა მარტო ტუტე და ტუტემიწა ლითონები, არამედ ბისმუტი, კადმიუმი და იშვიათმიწა ლითონებიც (იხ. ცხრ. 4); რაც შეეხება ტყვიას, თუთიას და ზოგიერთ სხვას, მათი ხსნადობა გაცილებით მცირეა, დანარჩენები კი პრაქტიკულად უხსნადა.

ლითონთა ხსნადობა გამლღვალ მარილებში განიხილება როგორც არასასურველი მოვლენა, რამდენადაც იწვევს დენით გამოსავლის შემცირებას, აპარატურის კოროზიას და სხვა არასასურველ მოვლენებს, თუმცა შეიძლება ამ გარემოების დადებითი ეფექტითაც გამოყენება.

ნიკელი, მაგალითად, კარგად იხსნება თავის გამლღვალ ქლორიდში, მაშინ, როდესაც რკინა და კობალტი ამ მარილში პრაქტიკულად უხსნადა. ეს კი სუფთა ნიკელის მიღების პერსპექტივებს საბავს რკინით, კობალტით და სხვა მინარევებით გაჭუქყიანებული ნედლეულიდან.

გაცივების პირობების შესაბამისად, ნიკელი ნემსების ან ბრტყელი ფირფიტოვანი კრისტალების სახით გამოიყოფა.

ანოდური ეფექტის მოვლენა. ლობილთა ელექტროლიზის დროს მნიშვნელობა აქვს ე. წ. ანოდური ეფექტის მოვლენას. პროცესის თითქოსდა მშვიდი მსვლელობის დროს ნახშირის ან გრაფიტის ანოდზე გარკვეულ პირობებში ხდება ძაბვის მკვეთრი, რამდენიმე ათეულჯერ გაზრდა; ეცემა დენის ძალა, ელექტროლიტი ანოდის ზედაპირს აღარ ასველებს, ელექტროდსა და ლლობილს შორის ჩნდება თხელი, 1 მმ სისქის აირის ფენა, რომელშიც შეიმჩნევა მცირე ელექტრული განმუხტვა. იწყება ანოდური ეფექტის დამახასიათებელი ნათება და შიშინი. აირის ამ თხელ აფსკს დიდი ელექტროწინალობა აქვს და ძაბვის ვარდნა მასში საკმაოდ მაღალია. სითბოს დიდი რაოდენობით გამოყოფის გამო ანოდის ზედაპირი და ელექტროლიტის მიმდებარე შრე ძლიერ გადახურდება. ძაბვის აწევის შედეგად აირის აფსკში ელექტროგანმუხტვა ძლიერდება, რაც, თავის მხრივ, დენის ძალის მცირედ მომატებასაც კი იწვევს.

ანოდური ეფექტი უფრო ფტორიდების ელექტროლიზისათვის არის დამახასიათებელი. სუფთა ნატრიუმფტორის შემთხვევაში, მაგალითად, ანოდური ეფექტი დენის ჩართვისთანავე იწყება, მაშასადამე, აქ ელექტროლიტის შედგენილობას აქვს უმთავრესი მნიშვნელობა. ქლორიდებში კი ანოდური ეფექტი ნაკლებად გვხვდება. ამ შემთხვე-

ვაში იგი უფრო მეტად ანოდური დენის სიმკვრივის გაზრდასთან არის დაკავშირებული. ანოდური დენის სიმკვრივეს, რაც ანოდური ეფექტის დაწყებას იწვევს, კრიტიკული ეწოდება. ეს სიდიდე გამლღვალა ფტორიდების შემთხვევაში 5—6-ჯერ უფრო მცირეა, ვიდრე ქლორიდებისა.

შემჩნეულია ისიც, რომ ქანგბადოვანი ნაერთების — ლითონთა ქანგეულების, სინესტის, ნახშირორჟანგის თანყოფნა საკმაოდ აღიდებს დენის კრიტიკულ მნიშვნელობას. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში ანოდური ეფექტი მხოლოდ დიდი დენის სიმკვრივის დროს გამოვლინდება.

ანოდური ეფექტის მექანიზმი, მრავალგზის გამოკვლევათა მიუხედავად, ჯერ საბოლოოდ შეცნობილი არ არის. უფრო სავარაუდოდ ითვლება, რომ ქანგბადოვანი ანიონების კონცენტრაციის დაქვეითების შედეგად თანდათან მცირდება მათი განმუხტვის შესაძლებლობა. მაშასადამე, ანოდის (ნახშირის ან გრაფიტის) ზედაპირი აღარ იუანგება, იზრდება დენის სიმკვრივე; ეს ქმნის კონცენტრაციულ პოლარიზაციას. ძაბვა მალღდება იმ დონემდე, რომ იწყება ფტორის შემცველი ანიონების განმუხტვა. ვარაუდობენ, რომ ამ დროს ელექტროდის ზედაპირს შემოეკვრება მძიმე აირი, მაგალითად, CF_4 -ის ფენა, რომელიც ელექტროლიტს განაცალკევებს ანოდისაგან — იგი აღარ შესველდება. ვითარდება ანოდური ეფექტის მოვლენა.

ქლორიდების შემთხვევაში თითქოს უნდა ხდებოდეს მოლეკულური ადსორბცია ელექტროდის ფორებში. ამან შეიძლება გამოიწვიოს ელექტროდის ზედაპირის ეკრანირება (დაფარვა) აირის უმცირესი ბუშტულაკებით. სწორედ ეს გარემოება უნდა ქმნიდეს მნიშვნელოვან გადაძაბვას და ელექტრონულ გრადიენტს, რის შედეგადაც აირის ბუშტულაკები ელექტროსტატიკურად ეკვრიან დადებითად დამუხტული ანოდის ზედაპირს. ეს იწვევს ელექტრული მუხტების დიდ სიმკვრივეს. ამგვარად წარმოქმნილი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის ვითარდება დიდი ძაბვა, რომლის გავლენითაც აირის ბუშტულაკები კიდევ უფრო ძლიერად ეკვრიან ანოდის ზედაპირს, ერთიანად ფარავენ მას და განაცალკევებენ ელექტროლიტისაგან.

აირადი აფსკის წარმოქმნის ამგვარი მექანიზმი შეიძლება ფტორიდების შემთხვევაშიც ვივარაუდოთ.

5 ზოგიერთი მკვლევრის აზრით, ანოდზე ხდება ნახშირბადის სხვადასხვა ნაერთის წარმოქმნა: C_xO , COF_2 , $C_2(F, Cl)_y$ და სხვ., რომელთაც ახასიათებს ელექტროიზოლაციის უნარი, წარმოქმნიან აფსკებს და აქნელებენ ანოდის შესველებას.

ელექტროქიმიური მწკრივი. მეტალთა ელექტროქიმიური მწკრივის ცოდნას არა მარტო თეორიული, არამედ დიდა პრაქტიკული მნიშვნელობაც აქვს. იგი საშუალებას გვაძლევს გავითვალისწინოთ მეტალთა ურთიერთგამოძევებისა და მათი სხვადასხვა შედგენილობის ელექტროლიტიდან გამოყოფის შესაძლებლობა. წყალხსნარებისათვის ასეთი მწკრივი, როგორც ვიცით, სტანდარტული პოტენციალების სიდიდეთა საფუძველზე დგება. მაგრამ, წყალხსნარებისაგან განსხვავებით, ლობილებში არ ხერხდება არც წყალბადის-მაგვარი ნულოვანი ელექტროდის, არც კალომელისნაირი უნივერსალური შედარების ელექტროდის შერჩევა, რაც გამოიწვევს ლობილებში სტანდარტული ელექტროდული პოტენციალის ცნებას. აქ ელემენტის ელექტროდული პოტენციალები ერთმანეთისაგან განსხვავებით ან ნატრიუმისა და ქლორის პოტენციალთან შედარებით განისაზღვრება.

ცალკეული მარილებისა და მათი ნარევების ლობილებში ელემენტების ელექტროდულ პოტენციალებს რამდენადმე განსხვავებული თანამიმდევრობა აღმოაჩნდათ. ეს გარემოება ერთი და იმავე იონის სხვადასხვა ენერგეტიკულ მდგომარეობაზე მიუთითებს.

ცხრილი 3

ლითონთა ელექტროქიმიური მწკრივი

გამხსნელი	ტემპერატურა, °C	ელექტროქიმიური მწკრივის თანამიმდევრობა
ანდიდუალური ფლორიდები	1000	Ba, Sr, Ca, Na, K, Mg, Li, Al, Mn, Cr, Ni, Fe, Cu
ანდიდუალური ქლორიდები	700	Ba, Sr, K, Li, Na, Ca, Mg
ანდიდუალური ბრომიდები	700	Ba, K, Sr, Li, Na, Ca, Mg, Mn, Al
წყალხსნარები	25	Li, K, Ba, Sr, Ca, Na, La, Mg, Be, Al, Mn, Cr, Fe, Ni

მაშასადამე, ელექტროქიმიური მწკრივის თანამიმდევრობა გამხსნელის ქიმიურ ბუნებაზედაც არის დამოკიდებული. ტემპერატურის ცვლილების გავლენა კი ნაკლები ხარისხით იგრძნობა, ვიდრე წყალხსნარებში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, წყალხსნარებისაგან განსხვავებით, მწკრივი იწყება არა ტუტე (ლითიუმი, კალიუმი), არამედ ტუტემიწა

მეტალებით — ბარიუმითა და სტრონციუმით (ცხრ. 3). ეს ფაქტი იმით შეიძლება აიხსნას, რომ ლითიუმი, ატომისა და იონის მცირე რადიუსის გამო, წყალხსნარებში ძლიერ ჰიდრატირებულია, რაც ამცირებს მისი ძვრადობის უნარს და ზრდის გამოყოფის პოტენციალს; ლლობილებში კი ჰიდრატაციის მოვლენა გამორიცხულია, ამიტომ ლითიუმის პოტენციალის მნიშვნელობაც ნაკლები სიდიდით ხასიათდება.

ელექტროდული პოტენციალების სიდიდეთა პერიოდულიობა. ელექტროდული პოტენციალების მნიშვნელობათა ცვლილებას გარკვეული პერიოდულობა ახასიათებს; ეს ასევე უნდა იყოს, ვინაიდან პოტენციალის წარმოქმნაში არსებით როლს თამაშობს ატომგულის მუხტის პერიოდული ფუნქციის მიხედვით განლაგებულ ატომთა გარე ელექტრული შრეები. ამ პოტენციალების მინიმუმი ყველა იონურ ლობილში ტუტე და ტუტემიწა მეტალებს შეესაბამება. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ელექტროდული პოტენციალები ქიმიური ელემენტის იმ ძირითადი თვისებების ფუნქციაა, რასაც მათი დ. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში განლაგება განსაზღვრავს.

ელექტროდული პოტენციალის სიდიდებზე გარკვეულ გავლენას ახდენს ამა თუ იმ გამლვეალი მარილის განსხვავებული თვისება, კერძოდ, კომპლექსნაერთების წარმოქმნის უნარი, ანიონის ბუნება და სხვ.

კომპლექსნაერთების წარმოქმნის შესაძლებლობაზე მიუთითებს ისიც, რომ ლლობილთა ნარევებში ამა თუ იმ მეტალის ელექტროდული პოტენციალი უფრო უარყოფითია, ვიდრე ინდივიდუალურ მარილებში.

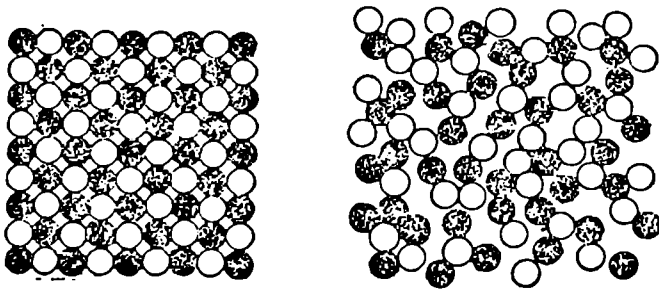
ტექნიკური ელექტროლიზისათვის გარკვეული მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ანიონების განმუხტვის ელექტროდული პოტენციალების სიდიდეთა ცოდნას.

საერთოდ უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროლიტური დისოციაციის ფიზიკური არსი ლლობილებში საბოლოოდ ჯერ კიდევ არ არის შეცნობილი. შეიძლება ვიგულისხმოთ მხოლოდ, რომ ამ შემთხვევაში ყოველ იონს არ გადააქვს დენი და ყოველი მათგანი არ განსაზღვრავს პოტენციალის სიდიდეს. ამ სიდიდის განმსაზღვრელ იონებს პირობითად „თავისუფალ იონებს“ უწოდებენ. მათი ფარდობა იონთა შესაძლებელ რაოდენობასთან მიუთითებს ლლობილის ელექტროლიტური დისოციაციის ხარისხზე; მაგრამ ამ უკანასკნელის შემცირების მიზეზი ქლორიდებიდან იოდიდებისაკენ გადასვლისას ნათელი არ არის. ალბათ ეს დაკავშირებულია იონთა ურთიერთმოლარიზაციის უნარზე, რამაც ხელი უნდა შეუწყოს მათი ურთიერთშეკიდულობის ძალების გაზრდას.

რატომ ღღვება ნივთიერება? მყარი ნივთიერების ძირითადი თვისებები ღღობის შედეგად მკვეთრად არ იცვლება. ღღობის ტემპერატურის ახლო ფარგლებში ეს თვისებები უფრო მყარისას უახლოვდება. მხოლოდ საკმაოდ გადახურების შემთხვევაში არის სავარაუდოდ აირად მდგომარეობასთან მსგავსება.

ამ მოსაზრების ერთგვარი დადასტურებაა თუნდაც ის ფაქტი, რომ ღღობის პროცესში მოცულობის ფარდობითი შეცვლა საკმაოდ მცირეა და უმრავლეს შემთხვევაში 10%-ს არ აღემატება. მაშასადამე, ნაწილაკებს შორის მანძილი ამ დროს უმნიშვნელოდ, მხოლოდ 3,3%-ით იზრდება.

ნიშნულია ისიც, რომ მარილთა აორთქლების სითბო 8—10-ჯერ მეტია, ვიდრე ღღობის ფარული სითბო; იგივე ითქმის ენაოროპიის შესახებაც. მაშასადამე, შეჭიდულობის ძალები და იონური კრისტალების მოწესრიგებულობის ხარისხი ნივთიერების მყარიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის დროს გაცილებით ნაკლებად იცვლება, ვიდრე თხევადის ორთქლად გარდაქმნისას. ამაზე მიუთითებს თბოტევადობის არამკვეთრი ცვლილებაც.



სურ. 9. იონური კრისტალური ნივთიერების სტრუქტურის მოდელი მყარ და გამლღვალ მდგომარეობაში

აქედან გამომდინარეობს, რომ ნივთიერების აღნაგობის განმსაზღვრელი ფაქტორები — ნაწილაკების ურთიერთგანლაგება, თბური მოძრაობა და ურთიერთქმედება როგორც თხევად, ისე მყარ ფაზაში ერთმანეთისაგან დიდად განსხვავებული არ შეიძლება იყოს.

კრისტალური სხეულის მოცულობაში ატომები განსაზღვრული წესრიგით არიან განლაგებულნი. ტემპერატურის აწევა არღვევს ამ წესრიგს — თავს იჩენს გისოსის დეფექტები. ვარაუდობენ, რომ ამ დროს წარმოიშვება თავისუფალი ადგილები, ე. წ. „ხვრელები“. ეს დეფექტები მით უფრო საგრძნობი ხდება, რაც უფრო ახლოსაა ნივთიერება ლლობის წერტილთან. ამ მომენტში უნდა ველოდოთ ზერელებისა და დისლოცირებული (წესიერად განლაგებული) ატომების რიცხვის გაზრდას და ატომთა შორის მანძილების მომატებას. ყოველივე ამის შედეგად კრისტალი იზრდება მოცულობაში, რაც ვადამწყვეტ როლს თამაშობს ლლობის პროცესის განვითარებაში. ლლობის წერტილის ახლო ტემპერატურაზე მყარ კრისტალურ მასაში წარმოიქმნება თხევადი ფაზის მიკროჩანასახები, რომელთაც „ლობის კვანტებს“ უწოდებენ. ყოველი მათგანი რამდენიმე ასეულ ან ათასეულ ატომს შეიძლება შეიცავდეს. მათი რაოდენობის ზრდა განსაზღვრავს ლობის პროცესის სიჩქარეს. წარმოქმნილი ბზარები და სიღრუეები თანდათან შლის და არღვევს მყარი მარილის კრისტალურ გისოსს. მყარ მდგომარეობაში მყოფი სხეულის ატომები ენერგიის მინიმუმით ხასიათდება. ტემპერატურის აწევისა და კრისტალების გაფართოების გამო კი მათ ნაკლებად მდგრადი მდგომარეობა ექმნებათ. ურთიერთშორის კავშირის ძალები იმდენად სუსტდება, რომ კრისტალური გისოსი ზოგან შეიძლება დაირღვეს კიდეც. ეს იწვევს მიკროსიღრუეების წარმოქმნას. როდესაც უკანასკნელთა რიცხვი საკმაოდ გამრავლდება, კრისტალის გისოსი საბოლოოდ ირღვევა — ნივთიერება ლღვება.

მიკროსიღრუეთა წარმოქმნის პროცესი მკვეთრად იზრდება ლობის დაწყების დროს. ეს აფართოებს თხევადი ფაზის არეს და ნახტომისებურად ზრდის მოცულობას.

აქ ხაზგასასმელია ერთი გარემოება: კრისტალის მთლიანობის დაზღვევა არ იწვევს მისი სტრუქტურის ძირეულ გარდაქმნას. იონის გარემოცვა რჩება ისეთივე, როგორც მყარ მდგომარეობაში. ირღვევა და იცვლება მხოლოდ ეგრეთწოდებული შორეული წესრიგი. მოცულობის გაზრდა თავისუფლების ერთგვარ შესაძლებლობას ქმნის ცალკეული იონებისა და სხვა სტრუქტურული წარმონაქმნების ურთიერთშემხვედრი მოძრაობისათვის. ისინი მოძრაობენ უწესრიგოდ, მაგრამ ერთმანეთთან გარკვეულ კავშირს ინარჩუნებენ.

იონთა ასეთ მდგომარეობებს დროებითი ხასიათი აქვს, ხოლო რხევათა ამპლიტუდები უფრო დიდია, ვინაიდან თავისუფალი მოცულობა აადვილებს ნაწილაკების გადასვლას მეზობელ წონასწორულ მდგომარეობაში.

თხევად მდგომარეობაში ზვრელების არსებობის თეორია ასე თუ ისე ხსნის იმ მოვლენას, თუ რატომ არ იცვლება მკვეთრად ამ ნაწილაკებს შორის შექვიდულობის ძალებისა და თბური მოძრაობის ხასიათი ლლობის დროს.

რას წარმოადგენს გამლღვალი მარილი? ელექტროლიტების რეალური ხსნარები იონურ სითხეთა ნარევებია; იონური ნაერთის სტრუქტურულ ერთეულებად, მართალია, ძირითადად ცალ-ცალკე იონებს გულისხმობენ, მაგრამ სინამდვილეში იონურ ლლობილთა შედგენილობა გაცილებით რთულია; მარტივი და კომპლექსური იონების გარდა, მასში შეიძლება სხვა სტრუქტურული ერთეულებიც გვქონდეს, კერძოდ, არადისოციირებული და პოლიმერიზებული მოლეკულები, აგრეთვე თავისუფალი მოცულობები (დისლოკაციები, ე. წ. „ზვრელები“).

ამ ნაწილაკების წონასწორულ მდგომარეობას განაპირობებს როგორც საპირისპიროდ დამუხტულ იონებს შორის მოქმედი (კულონის) ძალები, ასევე ერთნაირი მუხტის მქონე ნაწილაკების ურთიერთგამყოფი (ბორანის) ძალები, კომპლექსურსა და რთულ იონებში არსებული კოვალენტური ქიმიური კავშირები. მოლეკულათა შორისა (დისპერსიული და სხვ.) ძალების ნაირსახეობა, ელექტრონულ-მეტალური კავშირი. ნაწილაკების სახეობათა სირთულე და მათ შორის მოქმედი ძალების ნაირგვარი ბუნება დიდად აძნელებს იონურ ლლობილთა სტრუქტურის შეცნობას. სხვადასხვა თეორიული შეხედულების საფუძველზე, მართალია, მოწოდებულია რამდენიმე მოდელი, მაგრამ არც ერთი მათგანი არ შეიძლება სრულყოფილად ჩაითვალოს:

1. კვაზიკრისტალური მოდელი გულისხმობს მიკროდეტექტებისა და დისლოკაციების დიფუნდირების შედეგად, ახალი, უფრო მოზრდილი ვაკანსიების შექმნას. ამ მოსაზრების საფუძველზე ლლობის პროცესი განიხილება, როგორც კრისტალის რღვევა დისლოკაციების მიმართულებით. წარმოიქმნება კრისტალთა ნატეხები (კრისტალიტები, ე. წ. „აისბერგები“).

2. ზემოხსენებულ მოსაზრებას უთავსებენ შეკუმშული აირის მოდელს. ნავარაუდევია, რომ დისლოკაციის სიღრუვეებს შორის ხდება აირისმაგვარი ნაწილაკების განლაგება, ძირითად ნაწილაკებს ისეთივე მოცულობა უჭირავს, როგორც მყარ ფაზაში, ლლობის წერტილის ახლოს.

3. პოლიედრული ზვრელების მოდელი ემყარება ლლობის დროს მარილის მოცულობის გაზრდას ატომგულებს შორის მანძილის ერთდროულ შემცირებასთან ერთად.

თავისუფალი მოცულობის მოდელი გულისხმობს, რომ უჯრედს,

რომელშიაც მოლეკულა ძირითადად იმყოფება, გააჩნია აგრეთვე თავისუფალი მოცულობა. როდესაც ხვრელები აღწევენ ერთგვარ კრიტიკულ ზომას თავისუფალი მოცულობის უწესრიგო განაწილების გამო, ხდება ნაწილაკის გადანაცვლება ერთი ხვრელიდან მეორეში.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ დღესდღეობით არც ერთი ნავარაუდები მოდელი არ იძლევა შესაძლებლობას გავითვალისწინოთ იონური ლობილების ყველა სახის ელემენტარული კომპონენტების შედგენილობა და მათ შორის შესაძლებელ ურთიერთქმედებათა შედეგები.

იონურ სითხეთა უმრავლეს ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებათა სიდიდეები (ზედაპირული დაკიმულობა, სიბლანტე, სიმკვრივე, გარდატეხის მაჩვენებელი) საკმაოდ ახლოს არის სხვა, კერძოდ, მოლეკულური სითხეების ასეთივე მაჩვენებლებთან. მაგრამ ლობის ტემპერატურისა და ელექტროგამტარობის მხრივ ნაერთთა ეს ორი კლასი ფრიად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან.

ლლობილთა ელექტროლიზის შემთხვევაში უმთავრესად საქმე გვაქვს არა ინდივიდუალურ სუფთა მარილებთან, არამედ მათ ნარეველებთან. იონური ხსნარების, მაგალითად, ტუტე ლითონთა ქლორიდების შემთხვევაში ვთვლით, რომ გვაქვს ერთ-ერთი მათგანის, მაგალითად, კალიუმქლორის სტრუქტურა, რომელშიც კათიონთა ნაწილი მეორე კათიონით შეიძლება იყოს ჩანაცვლებული.

ნარევეებში იონთა ენერგეტიკული დონეები არაერთფასოვანია; ეს განპირობებს ერთნაირი ნიშნის იონთა დაჯგუფების შექმნას. დიდი მუხტისა და მცირე განზომილების მქონე კათიონები (Al^{3+} , Ti^{4+} , Si^{4+}) ძლიერ მაპოლარიზებელ ძალას ამქლავნებენ, რაც კომპლექსების წარმოქმნას უწყობს ხელს.

იონებს შორის კავშირი ასეთ ლობილებში იმდენად მტკიცეა, რომ მათი იონებად დანაწევრება არ ხდება. აქ სტრუქტურულ ერთეულებად ე. წ. ავტოკომპლექსური იონები გვევლინება:



გამლვალის მარილის მყარ მდგომარეობაში გადასვლა მთელ მოცულობაში მკვეთრად არ ხდება. გამყარების სიჩქარესა და ინტენსივობას კრისტალის ჩანასახის შექმნისა და ზრდის სიჩქარე განსაზღვრავს. ტემპერატურის დაწვევისას ორივე ეს პროცესი ჯერ მატულობს, შემდეგ კი, გადაციებისა და დიფუზიის გაძნელების გამო, მცირდება.

კვლევათა სიმრავლის მიუხედავად, კრისტალიზაციის საბოლოოდ დადგენილი მექანიზმი ჯერ არ არის შემუშავებული. შეიძლება მხოლოდ დავასკვნათ, რომ გამლვალის მარილის კრისტალიზაცია არა მთელ მოცულობაში, არამედ ცალკეულ წერტილებში იწყება; მაგრამ

რას წარმოადგენს კრისტალიზაციის ეს ცენტრები — ელემენტარულ მიკროკრისტალს, თუ სხვა წარმონაქმნებს — გადაწყვეტით თქმა ჯერ არ შეიძლება.

ინდივიდუალური ქიმიური ნაერთების ლლობა დაობა. კრისტალური ნივთიერებების, კერძოდ, მარილების თხევად ფაზაში გადასვლა მკაფიოდ გამოსახულ ერთ რომელიმე ტემპერატურაზე ხდება. ამით ისინი არსებითად განსხვავდებიან ამორფული ნივთიერებებისაგან. რომელთა ნაწილაკების განლაგება მყარ და თხევად მდგომარეობაში ერთნაირია. ამიტომ ამ ფაზების ურთიერთგარდაქმნა არა მკვეთრად, არამედ თანდათანობით ხდება.

ვინაიდან ნივთიერების გამყარებისას იმდენივე სითბო გამოიყოფა, რაც ლლობის დროს შთანთქმა, თხევადი ფაზის მყარ მდგომარეობაში გადასვლაც გარკვეულ ტემპერატურაზე ხდება.

იმ ნაერთთა სისტემებისათვის, რომელთაც ინერტული აირის ტიპის იონები აქვთ, ლლობის ტემპერატურა უნდა ეცემოდეს ანიონისა და კათიონის რადიუსების ჯამის ზრდასთან ერთად. რეალურ მარილებში, იონთა პოლარიზაციის გამო, ეს კანონზომიერება რამდენადმე დარღვეულია. პოლარიზაცია მით მეტია, რაც უფრო განსხვავებული რადიუსები აქვთ კათიონებსა და ანიონებს.

ლლობილთა ელექტროლიზის ტექნოლოგიაში მომეტებულად გამოყენებული მარილების, კერძოდ, ჰალოგენიდების ლლობის ტემპერატურები 600—1000°-ის ფარგლებშია. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ მაგნიუმისა და ტუტემიწა ლითონების ფტორიდები (სურ. 11):

ლლობის ტემპერატურის სიდიდე დამოკიდებულია კრისტალის შემდგენელ ნაწილაკებს შორის კავშირის სიმტკიცესა და ხასიათზე, ამიტომ არის, რომ მოლეკულურ კრისტალებს, რომელთა ნაწილაკებს შორის კავშირი ყველაზე უფრო სუსტია, ლლობის ტემპერატურაც დაბალი აქვთ.

მარილთა სისტემების ლლობა დაობა. ჯერ კიდევ ლლობილთა ელექტროლიზის მეთოდის პრაქტიკულ განხორციელებამდე იყო შექმნილი, რომ ერთი მარლის მეორეზე დამატება თითქმის ყოველთვის ლლობის ტემპერატურის შემცირებას იწვევს. შემდგომში ჩატარებულ კვლევათა საფუძველზე დადგინდა, რომ ნივთიერებათა ურთიერთშეღობას ნაირგვარი გარდაქმნები ახლავს თან — ევტექტიკური ნარევების, განსხვავებული თვისებების მქონე ახალი ქიმიური ნაერთების ან მყარი ხსნარების წარმოქმნა და სხვ.

ფაზათა კანონის შესაბამისად, სისტემის მდგომარეობას რამდენიმე ცვლადი სიდიდე განსაზღვრავს — წნევა, ტემპერატურა, შედგენილობა; მათი ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკული წარმოსახვისათვის

საჭიროა შესაბამისი სივრცული დიაგრამების აგება, რაც გარკვეულ სირთულეს წარმოადგენს; ამიტომ მიმართავენ გამარტივებას. ვინაიდან ლობილები ჩვეულებრივად ატმოსფერული წნევის ქვეშ გვაქვს, ხოლო მარილის ორთქლის ფაზის წნევა უმნიშვნელოა (პროცესები, ძირითადად, ლობის ტემპერატურის ახლო ზღვრებში მიმდინარეობს), ამიტომ შესაძლებელია წნევის გამორიცხვა. მართლაც, მისი გავლენა კონდენსირებული სისტემებისათვის (თხევადი და მყარი ფაზები) მხედველობაში მისაღები არ არის. ცვალებადი რჩება ტემპერატურა და კონცენტრაცია.

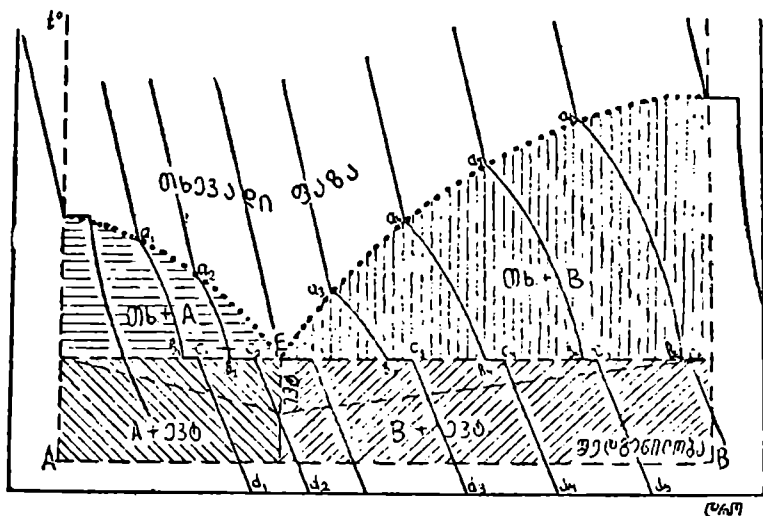
ლობილთა ელექტროლიზის პრაქტიკაში ძირითადად ორ- და სამკომპონენტური სისტემებია გამოყენებული. ორმაგ სისტემებში თავისუფლებათა, ე. ი. ცვლადთა რიცხვი, რომელთა ცვლა ჩვენ შეგვიძლია ფაზათა რაოდენობის გაზრდის ან შემცირების გარეშე, ორის ტოლია; ასეთებად შეიძლება ვიგულისხმოთ შედგენილობა და ტემპერატურა.

თუ კომპონენტები მყარ ხსნარებს არ წარმოქმნიან, მათი ურთიერთშერევა ყოველთვის ლობის ტემპერატურის შემცირებას იწვევს. მარტივი ორკომპონენტური სისტემების დიაგრამებზე — „შედგენილობა — ტემპერატურა“ ლობის მრუდების (ლიკვადუსის ხაზების) გადაკვეთა გვაძლევს მინიმუმს, რომელსაც ევტექტიკური წერტილი ეწოდება. ამ წერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური ხაზი — სოლიდუსი შეესაბამება ტემპერატურას, რომლის ქვევით ნივთიერება მთლიანად მყარ მდგომარეობაშია. ლიკვიდუსის ხაზები ესაზღვრებიან თხევადი ფაზის არეს, სადაც ორივე ნივთიერება ერთმანეთშია გახსნილი. სოლიდუსისა და ლიკვიდუსის ხაზებს შორის მოქცეული არეები ქმნიან ორ ორფაზიან ჰეტეროგენულ სისტემას. თითოეულ ამ არეში შესაბამისი სუფთა კომპონენტის კრისტალები ევტექტიკის შედგენილობის ლობილშია განაწილებული (სურ. 10). აქ თავისუფლების რიცხვი ერთის ტოლია — თუ შევცვლით ტემპერატურას, შედგენილობა მისი ფუნქცია იქნება.

ევტექტიკა მექანიკურ ნარევიად არის მიჩნეული. ამ წერტილში სამი ფაზა გვაქვს — ორივე კომპონენტის მყარი კრისტალები და ლობილი. სისტემა ნონვარიანტულია — ნებისმიერი პარამეტრის შეცვლას

6 გაეისხნოთ, რომ ფაზა ეწოდება სისტემის ერთგვაროვან შემდგენელ ნაწილს, რომელსაც ერთნაირი შედგენილობა და აგრეგატული მდგომარეობა აქვს და დანარჩენი ნაწილებისაგან გამოცალკევებულია გამყოფი ზედაპირით. კომპონენტები არის სისტემის დამოუკიდებელი შემდგენლები, რომელთაგან განსაზღვრულ პირობებში წარმოიქმნება აღებული სისტემის ყველა ფაზა და რომელთაც არ შეუძლიათ ერთმანეთში გარდაქმნა, მაგრამ აქვთ უნარი ერთი ფაზიდან მეორეში გადავიდეთ (წყალი, ყინული და ორთქლი სამი ფაზისაგან შედგება, კომპონენტი კი ერთია).

იგი გამოპყავს წონასწორობიდან. ევტექტიკის წერტილის კოორდინატები — შედგენილობა და ტემპერატურა — მუდმივია. ევტექტიკა ისევე მყარდება, როგორც ინდივიდუალური ქიმიური ნაერთი.



სურ. 10. ორკომპონენტური სისტემის ლობის დიაგრამის აგება

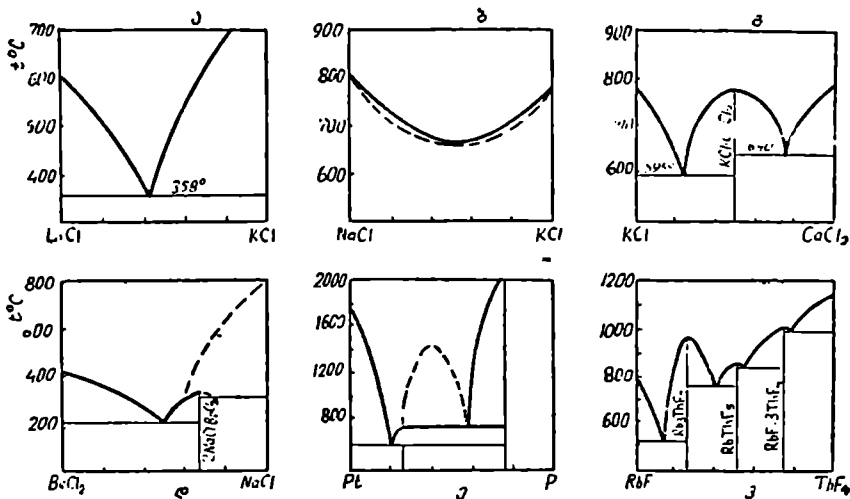
მდგომარეობის დიაგრამა სხვადასხვა შედგენილობის ნივთიერებათა თერმული ანალიზის მონაცემების საფუძველზე აიგება.

თერმული ანალიზი გულისხმობს გაცივების მრუდების გადაღებას ნ. კურნაკოვის პირომეტრის მეშვეობით, მაგრამ დიაგრამაზე „ტემპერატურა — დრო“ აისახება არა მარტო აღნიშნული მრუდი, არამედ ის გარდაქმნებიც, რაც ლობილის კრისტალიზაციასა და სისტემის შემდგომ გაცივებას მოსდევს თან.

თუ ნივთიერება ინდივიდუალურ ქიმიურ ნაერთს წარმოადგენს, მისი გაცივების მრუდს მხოლოდ ერთი დამახასიათებელი შეჩერება აქვს. საფეხურის სიგანე კრისტალიზაციის სიძლიერის რაოდენობასა და ნივთიერების ბუნებაზეა დამოკიდებული.

სხვადასხვა შედგენილობის ნარევების გაცივების დროს შეიმჩნევა ჯერ ერთგვარი დაყოვნება. ეს ერთ-ერთი კომპონენტის კრისტალების წარმოქმნის მაჩვენებელია. შემდეგ ვაჰქვს ევტექტიკის გამყარების მიმნიშნებელი მკაფიოდ გამოსახული პორიზონტალური საფეხური. ეს

სათევზური მით უფრო ფართოა, რაც უფრო ახლოს არის ნარევის შედგენილობა ევტექტიკის წერტილთან. იმის მიხედვით აიგება ე. წ. „ტამანის სამკუთხედი“.



სურ. 11. ორკომპონენტური სისტემების ლიკვიდუსის დიაგრამათა უმარტივესი ტიპები

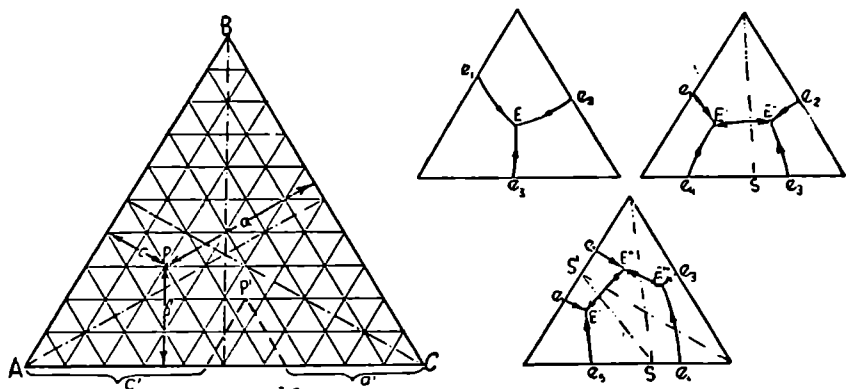
კომპონენტებს შეიძლება შეუზღუდავი ხსნადობა აბსოლუტურად თხევად მდგომარეობაში, გამყარებისას კი ქიმიური ნაერთი წარმოქმნან. უკანასკნელი შეიძლება ლეგებოდეს, როგორც სუფთა კომპონენტი, კონგრუენტულად. ამ შემთხვევაში თხევადი ფაზის შედგენილობა იგივეა, რაც მყარისა. ქიმიურ ნაერთებს ლიკვიდუსის მრუდზე შეესაბამება მაქსიმუმი — დისტექტიკა (სურ. 11 გ). ამ მაქსიმუმზე გამავალი ვერტიკალური ხაზით დიაგრამა ორ მარტივ ევტექტიკურ დიაგრამად შეიძლება გაიყოს.

ზოგიერთი სისტემები, კერძოდ, ტუტე და მრავალვალენტური ლითონთა ჰალოგენიდები რამდენიმე ქიმიურ ნაერთსაც კი წარმოქმნიან (სურ. 11 ვ).

არის შემთხვევები, როდესაც სისტემა მთლიან ხსნადობას აჩვენებს როგორც თხევად, ისე მყარ მდგომარეობაში (სურ. 11 ბ). მიზეზი ამისა ორივე მარტივი ერთგვაროვანი სტრუქტურაა. თუ ანიონები ერთი და იგივეა, მათ შორის კათიონები თანაბრად ნაწილდება. ამგვარი ტიპის დიაგრამებს იძლევა ტუტე ლითონთა ქლორიდების ნარევეთა უმეტესობა. ზოგჯერ კი მყარ მდგომარეობაში ნაწილობრივი ხსნადობა

გვაქვს. ლიკვიდუსის ხაზმა თითქოს მაქსიმუმზე უნდა გაიაროს, მაგრამ მანამდე იწყება ახალი მყარი ფაზის გამოყოფა (სურ. 11 დ, 11 ე). დიაგრამაზე აღინიშნება ფარული მაქსიმუმი. მას შეეფერება ქიმიური ნერთი, რომელიც მხოლოდ ლლობილთან შეხებაში შეიძლება არსებობდეს.

ზოგჯერ თხევად მდგომარეობაში მარილები მთლიანად ერევიან ერთმანეთს, ხოლო მყარ მდგომარეობაში ცალ-ცალკე ევტექტიკური კრისტალიზაცია მიმდინარეობს.



სურ. 12. კონცენტრაციული სამკუთხედი და სამკომპონენტური სისტემების ლობის დიაგრამათა უმარტივესი ტიპები

სამკომპონენტური სისტემები. ასეთი სისტემის შედგენილობის გამოსახვა შესაძლებელია ტოლგვერდა სამკუთხედის მეოხებით (გიბსის დიაგრამა). თითოეული წვერო ნაგულისხმევია როგორც სუფთა კომპონენტი. სამკუთხედის გვერდები ბინარული სისტემის შედგენილობას გვიჩვენებს, ნებისმიერი შიგნითა წერტილი კი სამივე კომპონენტის ნარევის წარმოადგენს. თითოეული მათგანის წილის განსაზღვრა შემდეგნაირად ხდება: სამკუთხედის სიმაღლე გაყოფილია 100 თანაბარ ნაწილად და, ვინაიდან საძიებელი წერტილიდან გვერდებზე დაშვებული პერპენდიკულარების ჯამი, ცნობილი გეომეტრიული თეორემის შესაბამისად, სწორედ სიმაღლის ტოლია, ამიტომ ამ პერპენდიკულარებით შეიძლება შესაბამისი კომპონენტების წილის გამოხატვა (სურ. 12). იმავე სიდიდეს მივიღებთ, თუ გვერდების პარალელურ ხაზებს გავავლებთ. მათი გადაკვეთა სამკუთხედის გვერდის

ზაზთან გვაძლევს ორი კომპონენტის რაოდენობას; მესამე გამოითვლება სხვაობით⁷.

ცხრილი 4

აღვილღობადი ქლორიდების ნარევები (მოლ. %)

LiCl	NaCl	KCl	CsCl	MgCl ₂	CaCl ₂	BaCl ₂	ZnCl ₂	ღვობის ტემპერატურა, °C
—	—	46	—	—	—	—	54	228
59,3	—	—	40,7	—	—	—	—	323
58,5	—	41,5	—	—	—	—	—	361
—	—	67	—	33	—	—	—	435
—	52	—	—	48	—	—	—	450
62	—	—	—	—	38	—	—	496
—	48	—	—	—	52	—	—	500
—	20	20	—	—	—	—	60	203
58	1,7	—	40,3	—	—	—	—	320
43	3,3	24	—	—	—	—	—	357
—	20	20	—	60	—	—	—	396
—	—	20	—	60	—	20	—	440
—	38,5	—	—	—	47	14,5	—	450

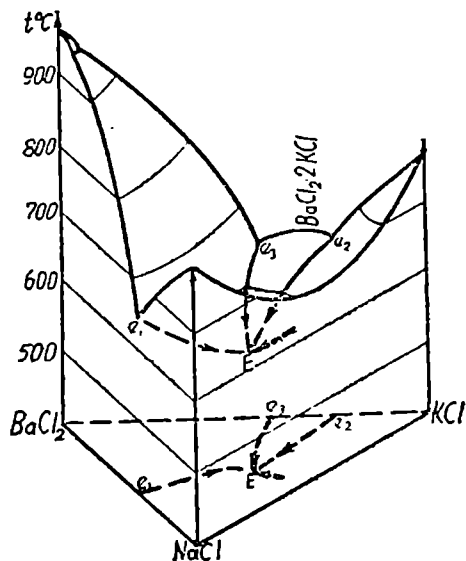
მაგრამ სისტემის მდგომარეობის დასახასიათებლად, კომპონენტთა კონცენტრაციების გარდა, საჭიროა ტემპერატურისა და წნევის ცვლილების ცოდნაც. თუ წნევა მუდმივია, ხოლო ღვობილთა ორთქლის დრეკადობა უმნიშვნელო, სისტემის მდგომარეობა შეიძლება სამგანზომილებიან სიბრტყეში გამოვსახოთ გეომეტრიული ფიგურით, რომლის ზედაპირი ლიკვიდუსის მრუდით შემოისაზღვრება (სურ. 13 ა). მოხერხებულობისათვის ამ ფართის პროექცია კონცენტრაციული სამკუთხედის სიბრტყეზე გადააქვთ, სადაც ხშირად იზოთერმების მრუდებიც არის დატანილი (სურ. 13 ბ).

იმ შემთხვევაში, როდესაც ბინარული სისტემები ევტექტიკური ტიპის მარტივ ნარევებს წარმოქმნიან მყარი ხსნარებისა და ქიმიური ნაერთების გარეშე, მაშინ სამკომპონენტიან სისტემებშიც სამმაგი ევტექტიკური წერტილის მქონე დიაგრამა გვექნება (სურ. 13 ა).

თუ ევტექტიკა ორ ან სამივე ბინარულ სისტემაში წარმოიქმნება, შესაბამისად გაიზრდება სამმაგი ევტექტიკების რიცხვიც (სურ. 13 ბ).

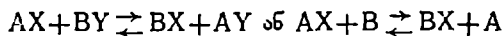
⁷ საინტერესოა ვიცოდეთ, რომ ორი კომპონენტის ფარდობითი შეღვენილობა ნებისმიერ სწორ ზაზზე, რომელიც მესამე კომპონენტის წვეროდან არის გავლებული მოპირდაპირე გვერდზე, მუდმივია.

კონგრუენტული ან ინკონგრუენტული ქიმიური ნაერთების წარმოქმნა კი საკმაოდ ართულებს სამკომპონენტიან დიაგრამებს (სურ. 13 გ).



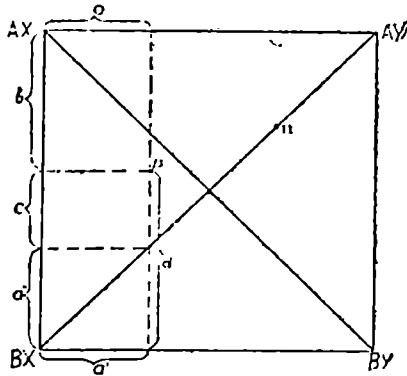
სურ. 13. სამმაგი სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა მოდელი სივრცეში და მისი პროექცია სიბრტყეზე

სამმაგი ზიარი სისტემები. სისტემები, რომლებშიც ურთიერთგაცვლის ან ჩანაცვლების რეაქციები მიმდინარეობს, ზიარ სისტემებად იწოდებიან. რეაქციაში შეიძლება ოთხი ნივთიერება მონაწილეობდეს, ხოლო გამოსავალ ნაერთებს საერთო იონები არ გააჩნდეთ —



ასეთ სისტემებს სამმაგ ზიარ სისტემებს უწოდებენ, ვინაიდან თითოეული მათგანის მიღება შესაძლებელია დანარჩენი სამის მეშვეობით. მისი შედგენილობა შეიძლება გამოისახოს კვადრატით, რომლის დიაგონალის ბოლოებზე ტოლობის ერთ მხარეს მყოფი ნივთიერებები იქნება აღნიშნული (სურ. 14).

დიაგრამაზე აღებული რომელიმე P წერტილის შედგენილობა შეგვიძლია მივიღოთ $AX+BX-AY$ -ის ან $BX-AX-BY$ -ის ურთიერთქმედებით. პირველ შემთხვევაში AY -ის რაოდენობას შეესაბამება მონაკვეთი a , ხოლო BX -ს — b . ცხადია, რომ AX -ის რაოდენობა გამოითვლება სხვაობით $c=100-(a+b)$. მეორე შემთხვევაში AX -ის რაოდენობას განსაზღვრავს d მონაკვეთი, BY -ს — a' , ხოლო BX -ს — სხვაობა $100-(d+a')$.



სურ. 14. სამმაგი ზიარი სისტემის კონცენტრაციული ობჟექტული.

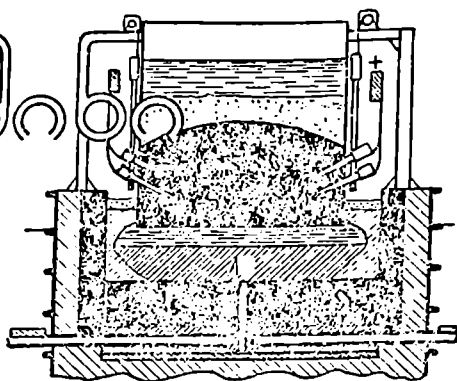
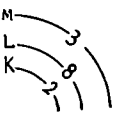
დიაგონალებზე მდებარე წერტილები ორი ნავთიერებისაგან შედგება BX -ის რაოდენობა, მაგალითად n წერტილში იქნება AYn -ის, ხოლო AY -ისა BXn მონაკვეთის პროპორციული.

თუ კონცენტრაციულ ობჟექტულზე ლიკვიდუსის ზედაპირზე მდებარე იზოთერმებს გამოვსახავთ, მივიღებთ სამმაგი ზიარი სისტემის სიბრტყით დიაგრამას.

მარილთა ნარევების ლობადობის ცოდნას თეორიული და ტექნოლოგიური მნიშვნელობა აქვს. მდგომარეობის დიაგრამით შეიძლება განვსაზღვროთ კომპონენტების ურთიერთქმედების მექანიზმი, თხევადი ფაზის სტრუქტურა, ავარჩიოთ ოპტიმალური შედგენილობის ელექტროლიტი — პროცესის შესაძლებლად დაბალ ტემპერატურაზე ჩატარებისა და სასურველი ლითონის გამოყოფის ვარაუდით. ეს კირთული ტექნოლოგიური პროცესის მართვის შესაძლებლობას იძლევა.

13
Al
26,98
27 3p
კ.წ. = 27
$t_m = 660^\circ$
$t_e = 2497^\circ$
$\rho = -1,662$

ალუმინი



სამამულო ალუმინის მრეწველობის განვითარება

1932 წლის მაისში გამოქვეყნდა ცნობა ვოლზოვის ალუმინის ქარხნის მიერ პირველი სხმული საბჭოთა ალუმინის გამოშვების შესახებ, რასაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა ჰქონდა ჩვენი ქვეყნის სახალხო მეურნეობის ყველა დარგის სწრაფი აღმავლობისა და განსაკუთრებით კი თავდაცვისუნარიანობის განმტკიცებისათვის.

ქარხანა არნახულ მცირე ვადაში — 2 წელიწადში — აშენდა მალე მოგვცა ლითონი დნეპრის ალუმინის ქარხანამაც, რომელიც ნამდვილი მძლავრი ლაბორატორია გახდა ახალი სახის პროდუქციის ათვისებისა და მძლავრი ელექტროლიზერების შექმნის საქმეში. სწორედ აქ იყო მიღებული პირველად მსოფლიოში მადანთერმულ ლუმელებში ალუმინ-სილიციუმის შენადნობი და სუფთა სილიციუმი.

ამავე წლებში მწყობრში ჩადგა ტიხვინის თიხამიწის ქარხანა. ახალი მძლავრი საწარმოო ნედლეულის ბაზა შეიქმნა აღმოსავლეთში — ურალში. გეოლოგებმა აღმოაჩინეს ბოქსიტების მძლავრი საბადო. იქვე მოკლე ვადაში აშენდა ურალის ალუმინის ქარხანა, რომელმაც ომის მძიმე წლებში თავის მხრებზე აიღო „მფრინავი ლითონით“ ქვეყნის მომარაგების მთელი სიმძიმე, ვინაიდან დნეპრისა და ვოლზოვის ქარხნების ტერიტორია დროებით გერმანელთა ოკუპაციის ზონაში მოხვდა.

სამამულო ომის წლებში მძიმე პირობებში აშენდა ნოვოკუზნეცკისა და ბოგოსლავსკის ალუმინის ქარხნები. მოკლე ვადებში არამც თუ აღდგენილ იქნა დაკარგული სიმძლავრეები, არამედ გადაილახა ლითონის გამომუშავების ომისწინა დროინდელი დონე, რაც საბჭოთა

აღმავლებების დიდი შრომითი აღმავლობის შედეგი იყო. იმდროინდელი გამოცდილება ფართოდ გამოიყენა კანაკირის, კანდალაქმას, ნადვოსის, სუმგაითის, ვოლგოგრადის ალუმინისა და სამხრეთ ურალის კრიოლიტის ქარხნებმა. ციმბირის მძლავრ ჰიდროელექტროსადგურების მიერ გამოქმუნებული ენერჯის ბაზაზე დამკველური ტემპებით აშენდა აგრეთვე ირკუტსკის, კრასნოიარსკისა და ბრატსკის ქარხნები.

ახალი ქარხნების მშენებლობამ მოითხოვა ნედლეულის საიმედო ბაზის შექმნა. განვითარდა გეოლოგიურ-საძიებო სამუშაოები ბოქსიტების მარაგის გამოსავლინებლად. პირველად მსოფლიო პრაქტიკაში საბჭოთა კავშირმა წარმატებით გადაჭრა არა ბოქსიტური ნედლეულის და დაბალხარისხოვანი ბოქსიტების წარმოებაში გამოყენების საკითხი, ხოლო ვოლხოვის ალუმინისა და პიკალევის თიხამიწის ქარხნებში განხორციელდა თიხამიწის, კალციირებული სოდის, პოტაშისა და ცემენტის მიღება კოლის ნეფელინური კონცენტრატების კომპლექსური გადამუშავებით.

კიროვადის (აზერბაიჯანის სსრ) ქარხანაში დაწყებულია ალუმინიტების გადამუშავება. პავლოდარის ალუმინის ქარხანაში დანერგულია ყაზახეთის მაღალკაეზადიანი მადნების გადამუშავების ორიგინალური ტექნოლოგია. მწყობრში ჩადგა აჩინის თიხამიწის მწარმოებელი კომბინატი, რომელიც კრასნოიარსკის მხარისა და კემეროვოს ოლქის ნეფელინიან მადანს გადაამუშავებს. აღმოჩენილია ბოქსიტების მძლავრი საბადო კომის ავტონომიურ რესპუბლიკაში და ბელგოროდის ოლქში. დაწყებულია ჩრდილოეთ ონეჟის ბოქსიტის საბადოს ექსპლუატაცია.

არაბოქსიტური ნედლეულის — ნეფელინების, ალუმინიტებისა და მაღალკაეზადიანი ბოქსიტების სამრეწველო მიზნებით ათვისება საბჭოთა მეცნიერებისა და წარმოების მუშაკთა მნიშვნელოვანი მიღწევაა.

ალუმინის წარმოების განვითარების საქმეში ხარისხობრივად ახალი ეტაპი გახდა 1975 წელი, როდესაც ამუშავდა ტაჯიკეთის ალუმინის ქარხანა. ქარხანა აღჭურვილია მძლავრი 160-120 კა აბაზანებით. ენერჯის ხარჯი პროდუქციის ერთეულზე აქ ნაკლებია, ვიდრე ძველ ქარხნებში; უკეთესია ლითონის ხარისხიც. ამჟამად დიდი ყურადღება ექცევა უნარჩენო და ნაკლებნარჩენიან ახალი ტექნოლოგიის დადგენას, ძველი მოწყობილობების განახლებას, მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის დანერგვას, მასალატევადობის, ენერჯისა და შრომითი ხარჯების შემცირებას, პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესებას და მრავალსახეობას.

სამამულო ალუმინის წარმოებამ საერთაშორისო აღიარება პოვა.

საბჭოთა ინჟინერ-ტექნიკოსთა მონაწილეობით საზღვარგარეთ ალუმინის 11 მძლავრი საწარმოა აშენებული.

დაჩქარებული ტემპებით მიმდინარეობს ახალი საწარმოო სიმძლავრეების, კერძოდ, მძლავრი ელექტროლიზერების ამუშავება ტაჯიკეთისა და საიანის ქარხნებში.

საბჭოთა მეცნიერთა გამოკვლევებმა ნათლად დაგვანახა, რომ ქვეყნის ეკონომიკის სწრაფი აღმავლობისათვის, მისი მრავალდარგოვანი მეურნეობის მოთხოვნილებათა უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მსუბუქ ლითონთა წარმოების, უწინარესად კი ალუმინის მრეწველობის კიდევ უფრო მძლავრი ტემპებით განვითარება.

ალუმინის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები

ქანგბადისა და კაუბადის შემდეგ ალუმინი ყველაზე გავრცელებული ელემენტია დედამიწის ქერქში. 16 კმ-ის სიღრმემდე მისი შემცველობა 8,05% აღწევს (ცხრ. 5). ბუნებაში ალუმინი გვხვდება მხოლოდ ნაერთების სახით. რომელთაგანაც ხალასი ლითონის მიღება საკმაოდ რთულია, მაშინ, როდესაც სპილენძს, ტყვიას, რკინას, კალას და სხვა ფერად ლითონებს ადამიანი მრავალი საუკუნის მანძილზე იცნობს და იყენებს, ალუმინი თავისუფალი სახით პირველად მიღებული იყო 1825 წელს. ტექნიკაში მისი გამოყენების ისტორია კი მხოლოდ ერთ საუკუნეს მოიცავს.

გასულ საუკუნეში ალუმინის ღირებულება ვერცხლის ფასს უტოლდებოდა, ამჟამად კი იგი ყველაზე იაფი ფერადი ლითონია. მისი წარმოების მასშტაბები მხოლოდ რკინისას ჩამორჩება და ათეულ მილიონ ტონას აღწევს.

ალუმინი დ. ი. მენდელეევის პერიოდული სისტემის მესამე ჯგუფის ელემენტია. სამი სავალენტო ელექტრონიდან ორი განლაგებულია 3s და ერთი — 3p დონეზე. უკანასკნელის იონიზაციის ენერგია ნაკლებია 3s ორბიტაზე განლაგებულ ელექტრონთა იონიზაციის ენერგიაზე. სწორედ ეს გარემოება განაპირობებს ერთვალენტიანი ალუმინის ნაერთების წარმოქმნას. ასეთი ნაერთების (მაგალითად, AlF და AlCl) არსებობა მხოლოდ განსაკუთრებულ პირობებშია შესაძლებელი, ისე კი ნაერთებში ალუმინი მხოლოდ სამვალენტია.

ალუმინი ამფოტერულია და იხსნება როგორც მარილმჟავასა და გოგირდმჟავაში, ასევე ტუტეებში.

ალუმინის კრისტალური გისოსის ელემენტარული უჯრედი წახნაგცენტრირებული კუბია. ჰაერზე ალუმინი დაფარულია ქანგეულის მკვრივი, უფრო და გამჭვირვალე თხელი ფენით. მისი სისქე $2 \cdot 10^{-5}$

სმ-ს არ აღემატება. სწორედ ეს ფენა იცავს მას შემდგომი დაჟანგვისაგან. ხელოვნურად ალუმინის ანოდური დამუშავებით შესაძლებელია ალუმინიანგის უფრო სქელი ფენის მიღებაც.

ცხრილი 5

ელემენტების შემცველობა ლითონფეროში, წონ. %
(ა. ვინოგრადოვის მიხედვით)

O ₂ —47,0	Na—2,50	Mn—0,10	Zn—0,0023
Si—29,5	K —2,50	P —0,093	Cu—0,0047
Al—8,05	Mg—1,67	S —0,047	C —0,0023
Ca—2,96	Ti—0,45	Ni —0,0058	Ag—7·10 ⁻⁶
Fe—4,65	H ₂ —1,0	Cl—0,017	Au—4,3·10 ⁻⁷

ალუმინი ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობის მრავალ დარგსა და სამხედრო საქმეში: საავიაციო და ელექტროტექნიკურ მრეწველობაში, მანქანათმშენებლობასა და მეტალურგიაში, საავტომობილო და საზღვაო ტრანსპორტზე, აგრეთვე ფართო მოხმარების საგნების დამამზადებელ საწარმოებში.

ალუმინის მრავალმხრივი გამოყენება გაპირობებულია დაბალი თვისებების მქონე მისი შესანიშნავი თვისებებით, კერძოდ, სიმტკიცით, სიმსუბუქით (იგი თითქმის სამჯერ მსუბუქია ფოლადზე), კარგი თბო- და ელექტროგამტარობით, კოროზიული მედეგობით, დამუშავების მრავალმხრივობით: ადვილად იგლინება, იჭედება, იტვიფრება, შედუღდება, შესაძლებელია მისი მირჩილვა და ადიღვა. ალუმინს აქვს სხვადასხვა ლითონთან განსაკუთრებული თვისებების მქონე შენადნობების წარმოქმნის დიდი უნარი. გამლვეალ ალუმინში ოქრო და პლატინაც კი იხსნება. ტექნიკაში გამოყენებული ლითონებიდან იგი მხოლოდ ტყვიასთან არ იძლევა შენადნობებს.

განსაკუთრებით დიდი გამოყენება აქვს ალუმინის საფუძველზე დამზადებულ შენადნობებს — დურალუმინსა და სილუმინს.

დურალუმინი შეიცავს 3,5% Cu, 0,5% Mn და 0,5% Mg, დანარჩენი ალუმინია. სილუმინი — ალუმინის შენადნობია სილიციუმთან (13—14% Si). დურალუმინი ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სახის კონსტრუქციების დასამზადებლად. მექანიკური გამძლეობით ეს შენადნობი უახლოვდება რბილ ფოლადს და ამავე დროს ბევრად მსუბუქია (ხვ. წონა 2,85). სილუმინს აქვს ისეთივე კარგი სასხმო თვისებები, როგორც თუჯს. ამასთან ბევრად მსუბუქია (ხვ. წ. 2,6).

ალუმინს ფართოდ იყენებენ ქიმიური აპარატურის დასამზადებლად. იგი მედეგია აზოტმეივას მიმართ. ალუმინის ფოლგა გამოიყენება

კვების მრეწველობაში. ალუმინის მნიშვნელოვანი რაოდენობა იხარჯება საყოფაცხოვრებო საგნების დასამზადებლად და დეკორაციული მიზნებისათვის. ალუმინით, რიგ შემთხვევაში, შეიძლება შევცვალოთ ისეთი დეფიციტური ლითონები, როგორცაა სპილენძი, ტყვია, კალა, თეთია და ხშირად ფოლადიც.

ალუმინის გამოყენება მშენებლობაში და ხიდების დასამზადებლად დღითიდღე იზრდება. მშენებლობაში ალუმინის გამოყენება ამცირებს სამშენებლო კონსტრუქციების წონას და ზრდის მათი სამსახურის ვადას (სახურავი, კარ-ფანჯრის ჩარჩო და სხვ.), ამასთან აადვილებს სამშენებლო და სამონტაჟო სამუშაოებს. ალუმინს ფართოდ იყენებენ ახალ ტექნიკაშიც, კერძოდ, ატომურ ენერგეტიკაში, სადაც მნიშვნელობა აქვს ალუმინის მიერ თბური ნეიტრონების შთანთქმის თვისებას.

ალუმინის ხვედრითი ელექტროწინალობა ოთახის ტემპერატურაზე არის 0,0265 ომ/მმ²/მ. ალუმინის ელექტროგამტარობა შეადგენს სპილენძის მიმართ 62—65%. მაგრამ ალუმინთან შედარებით სპილენძის კუთრი წონა ბევრად მეტია, ამასთანავე იგი დეფიციტურია და უფრო ძვირადღირებული, ამიტომ დენგამტარებში მიზანშეწონილია სპილენძის შეცვლა ალუმინით.

ალუმინი ფრიად ელექტროუარყოფითი ლითონია. მისი სტანდარტული პოტენციალი 1,6 ვოლტია. ქიმიური აქტივობა განაპირობებს ალუმინის გამოყენებას მეტალურგიაში, კერძოდ, ფოლადის განჯანგვისა და ქრომის, მანგანუმის, ვოლფრამისა და სხვა ლითონების აღსადგენად მათი ჟანგულებიდან ნ. ბეკეტოვის მეთოდით (ალუმინოთერმია).

სუფთა ალუმინი გამოიყენება ლითონის ზედაპირის კოროზიისაგან დასაცავად. ამას აღწევენ პლაკირებით ან ლითონის ზედაპირის ალუმინის საღებავით დაფარვით.

ალუმინის ფხვნილისა და რკინის ჟანგის ნარევეს იყენებენ ლიანდაგების შედუღებისათვის (თერმიული შედუღება). მაგნიუმისა და ალუმინის ფხვნილის ნარევი რკინის ჟანგთან ომის დროს გამოყენებული იყო ცეცხლის მოსაქიდებელ ყუმბარებში.

ალუმინის წარმოების ისტორია

ალუმინის მიღება თავისუფალი სახით პირველად 1810 წელს სცადა ცნობილმა ინგლისელმა მკვლევარმა ჰ. დევიმ. მანამდე მან, დენის წყაროდ ვოლტას სვეტის გამოყენებით, შეძლო მეტალური ნატრიუმისა და კალიუმის მიღება. ამავე გზით ნოტიო თიხამიწის დაშლით იგი ცდილობდა ალუმინის მიღებასაც. ანოდად გამოყენებული ჰქონდა

პლატინის ფირფიტა, ხოლო კათოდად — რკინის მავთული. დენის გატარებისას მავთული გავარვარდა და გალღვა. ამრიგად, მან მიიღო არასუფთა ალუმინი, როგორც მას ეგონა, არამედ რკინა-ალუმინის შენადნობი.

ალუმინის ჰიდროქსიდის დასახელებიდან (Alumina) გამომდინარე, 3. დევიმ ლითონს უწოდა ალუმინი (Aluminium).

დანიელმა 3. ერსტედმა ალუმინქლორზე კალიუმის ამალგამის მოქმედებით ჯერ მიიღო ალუმინის ამალგამი და მისი შემდეგი დისტილაციით პირველმა 1825 წელს გამოყო სუფთა ალუმინი. შემდეგში გერმანელმა ფრ. ველერმა გააუმჯობესა ერსტედის მეთოდი, შეცვალა რა კალიუმის ამალგამი ლითონური კალიუმით.

1854 წელს ფრანგმა მრეწველმა და მეცნიერმა სენ-კლერ-დევილმა საწარმოო პრაქტიკაში განახორციელა ალუმინის მიღების მეთოდი ნატრიუმის მოქმედებით არა სუფთა ქლორიდზე, არამედ ნაკლებად ჰიგროსკოპულ ორმაგ მარილზე ($AlCl_3 + NaCl$). აღმდგენელს (ნატრიუმს) იგი იღებდა სოდისა და ნახშირის გახურებით. უნდა აღინიშნოს ოპერატულობა, რომელიც გამოიჩინა მკვლევარმა ახალი მეთოდის დანერგვის საქმეში. „იაფი ვერცხლი — თიხიდან“ მან შესთავაზა კავალერიის შესაკაზმავად საფრანგეთის იმდროინდელ იმპერატორს ლუი ნაპოლეონს, რითაც დაისაკუთრა მონპოლია ახალი ლითონის მიღებაზე.

1865 წელს გამოჩენილმა რუსმა მეცნიერმა ნ. ბეკეტოვმა დეტალურად შეისწავლა ალუმინის აღდგენა კრიოლიტიდან (Na_3AlF_6) მეტალური მაგნიუმით. ეს მეთოდი ოთხმოციან წლებში დაინერგა წარმოებაში გმელინგენში — ალუმინის მიმღებ პირველ გერმანულ საწარმოში.

1854—1890 წლებში, სენ-კლერ-დევლისა და ნ. ბეკეტოვის ქიმიური მეთოდებით მიღებული იყო სულ 200 ტონამდე ალუმინი. ალუმინის თვითღირებულების შემცირებასა და მისი წარმოების მასშტაბების გაზრდას განსაკუთრებით შეუწყო ხელი ელექტროქიმიური მეთოდის შემუშავებამ. გარკვეული მნიშვნელობა ჰქონდა იმ გარემოებასაც, რომ იმ დროისათვის უკვე კონსტრუირებული იყო მუდმივი დენის მძლავრი წყარო — დინამომანქანა.

ელექტროლიზით ალუმინის მიღების მეთოდის ფუძემდებლები არიან პოლ ერუ და (1863—1914) ჩარლზ ჰოლი (1863—1914). პირველმა საფრანგეთში 1886 წლის 29 აპრილს. მეორემ აშშ-ში იმავე წელს 9 ივლისს ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად აიღეს თითქმის ანალოგიური პატენტები ალუმინის მიღებისა კრიოლიტში გახსნილი თიხამიწის ელექტროლიზით.

ერუს აღმოჩენიდან ორი წლის შემდეგ შვეიცარიაში აპუშავდა ელექტროლიზური ალუმინის პირველი საამქრო.

გასულ საუკუნეში ამ მეთოდით ალუმინის მიღებას ორა ამერიკული კომპანია აწარმოებდა: პიტსბურგისა, რომელიც ნიაგარას წყალვარდნილზე აშენებულ ელექტროსადგურში მიღებულ იაფ ენერჯიას იყენებდა, და ალუმინის კომპანია, რომელიც მანამდე ელექტროთერმული წესითღებულობდა ალუმინის ბრინჯაოს (ალუმინის შენადნობს სპილენძთან და რკინასთან).

აღნიშნულ კომპანიებს შორის პატენტების ირგვლივ წარმოშობილმა დაეამ მრავალ წელს გატანა. სასამართლომ გამოაშკარავა ამ საწარმოთა ტექნიკური დეტალები და საიდუმლოებანი, რამაც ხელი შეუწყო ალუმინის ახალი ქარხნების მშენებლობას.

ალუმინის წარმოების ისტორია გასული საუკუნის მანქილზე ნათლად მელაენდება წარმოების მასშტაბების ზრდისა და მასზე ფასების შემცირებაში (ცხრ. 6). თუ ცალკეული მკვლევრის მიერ მიღებული ალუმინის ფასი 1825—1850 წლებში ვერცხლისას უტოლდებოდა და 1000 გერმანულ მარკაზე ქვევით არ ჩამოდიოდა, სენ-კლერ დევილის მიერ საქარხნო წარმოების მოწყობის შემდეგ ალუმინის ფასი მკვეთრად ეცემა და 1859—1872 წლებში 70 მარკამდე დადის. შემდეგი ფასის მკვეთრი დაცემა 15—20 მარკამდე (ცილოგრამზე) შეიძინევა მხოლოდ 90-იან წლებში, როდესაც წარმოებაში ახალი, ელექტროლიზური მეთოდი დაინერგა.

თუმცა რევოლუციამდელ რუსეთს ალუმინის წარმოება არ ჰქონია, მაგრამ რუსმა მეცნიერებმა მაინც მნიშვნელოვანი კვლევები ჩაატარეს ალუმინის მეტალურგიის დარგში და თავისი წვლილი შეიტანეს მისი განვითარების საქმეში. ამ მხრივ აღსანიშნავია პ. ფედოტიევის როლი, რომელმაც 1910—1912 წწ. ვ. ილინსკისთან ერთად საფუძვლიანად შეისწავლა ალუმინის წარმოების მეთოდები და მასთან დაკავშირებუ-

უცრილი 6

ალუმინის წარმოება და ფასი XIX საუკუნეში

წელი	წარმოება, ტ/წლ.	ფასი, გერმ. მარკა/კგ
1825—1815	მილოგრამები	—
1854—1855	0,025	240
1859	1,68	1000
1872—1878	2,25—2,35	70
1885	13,0	80
1889	71,0	40
1890	175,0	15—20

ლი თეორიული საკითხები (კრიოლიტ-თიხამიწის მდგომარეობის დიაგრამები, ელექტროლიზის პროცესზე მოქმედი ფაქტორები და სხვ.).

აღსანიშნავია აგრეთვე ის გარემოება, რომ მსოფლიოში ყველაზე გავრცელებული მეთოდი თიხამიწის მიღებისა ბოქსიტებიდან აღმოაჩინა რუსეთში მომუშავე ქიმიკოსმა კ. ბაიერმა, რომელმაც თავისი ცნობილი პატენტები აიღო გასული საუკუნის 90-იან წლებში. 1895 წელს რუსმა ინჟინერმა დ. პენიაკოვმა განაცხადი გააკეთა თიხამიწის მიღებაზე ბოქსიტებიდან — მათი შეცხოვით ნატრიუმის სულფატთან და ნახშირთან. ა. კუზნეცოვმა და ე. უუკოვსკიმ 1915 წელს წამოაყენეს ორიგინალური მეთოდი თიხამიწის მიღებისა დაბალნარისტოვანი მადნებიდან, ალუმინის შემცველი წილის წინასწარი გამოდნობით. ეს ფრიად ორიგინალური მეთოდი შემდგომში გამოიყენეს თიხამიწის მისაღებად დნეპრის ალუმინის ქარხანაში.

1914 წელს ნ. პუშინმა, ე. ერშლოერმა და მ. მაქსიმენკომ გამოაქვეყნეს საინტერესო ნაშრომი „ალუმინის მიღების შესახებ რუსული ნედლეულიდან“.

1926—1932 წწ. ლენინგრადის გამოყენებითი ქიმიის ინსტიტუტში ა. იაკოვკინის ხელმძღვანელობით შემუშავებული იყო ტიხვინის ბოქსიტებიდან თიხამიწის მიღების (სოდასა და კირქვასთან შეცხოვის) მეთოდი. ამ მეთოდის მნიშვნელობა ფრიად დიდია. იგი გამოიყენეს ვოლხოვში, ჩვენს ქვეყანაში პირველი ალუმინის ქარხნის პრაქტიკაში, რითაც ფართო პერსპექტივები დაისახა მაღალკაუბადიანი ბოქსიტებიდან თიხამიწის მისაღებად.

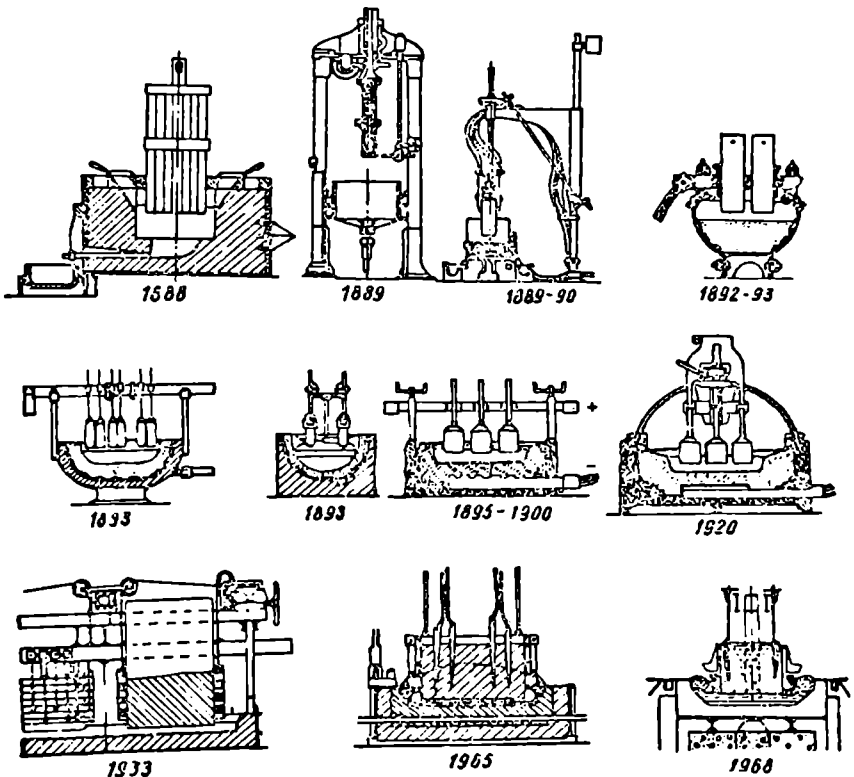
1929 წელს ლენინგრადში ქარხანა „წითელ ვიბორეცში“ პ. ფედოტიევის ხელმძღვანელობით პირველად ჩვენს ქვეყანაში ჩატარდა ნახევრადსაქარხნო გამოცდა ალუმინის მიღებისა ელექტროლიზით 2000-ამპერიან აბაზანებზე.

იმავე წელს საბჭოთა კავშირის მთავრობამ მიიღო მსუბუქ ლითონთა სამამულო მეტალურგიის განვითარებისათვის ფრიად მნიშვნელოვანი გადაწყვეტილება საბჭოთა კავშირში ორი — ვოლხოვისა და დნეპრის მძლავრი ალუმინის ქარხნის მშენებლობის შესახებ.

1930 წელს ლენინგრადში აშენდა საცდელი ალუმინის ქარხანა, აითვისეს ხელოვნური კრიოლიტის წარმოება, აშენდა ნახშირის ბლოკებისა და ელექტროდების მისაღები ქარხანა.

1931 წელს ლენინგრადში შეიქმნა ალუმინის წარმოების საკვლევი ინსტიტუტი. მან დიდი როლი შეასრულა სამამულო ალუმინის და მაგნიუმის მრეწველობის შექმნის დარგში. დიდი კვლევითი სამუშაოები ჩატარდა ა. ბელიაევის ხელმძღვანელობით, აგრეთვე უკრაინისა და სვერდლოვსკის სამეცნიერო-კვლევით ცენტრებში.

1932 წელს გაშვებულია ეოლხოვის, 1933 წელს — დნეპრის, ხოლო 1940 წ. — ევროპაში უდიდესი ურალის ქარხნები. მათი გაშვების წინაპირობა იყო ჩვენს ქვეყანაში ვ. ი. ლენინის მიერ მოხაზული ქვეყნის ელექტროფიკაციის („გოელრო“) გეგმით გათვალისწინებული ეოლხოვისა და დნეპრის ელექტროსადგურების სიმძლავრეთა ათვისება. დიდი სამამულო ომის შემდეგ საბჭოთა კავშირში აშენდა ალუმინის ახალი ქარხნები. მოკლე ვადაში ჩვენმა ქვეყანამ გამომუშავებული ალუმინის რაოდენობის მხრივ პირველი ადგილი დაიკავა მსოფლიოში.



სურ. 15. ალუმინის მისაღებად გამოყენებული აბაზანების კონსტრუქციები

ამას ხელი შეუწყო მძლავრი ელექტროსადგურების მშენებლობამ ქვეყნის აღმოსავლეთ რაიონებში.

კაპიტალისტურ ქვეყნებში ალუმინის წარმოება 1964 წელს 4,5 მილიონ ტონას შეადგენდა (ცხრ. 7). საგულისხმოა, რომ ალუმინის გამოშვება მაღალია არა მარტო მსხვილ სამრეწველო ქვეყნებში, არამედ დიდი ჰიდროენერგორესურსების მქონე ქვეყნებშიც — ნორვეგიაში, შვეციასა და შვეიცარიაში.

სურ. 15 მოცემულია სხვადასხვა დროს გამოყენებული ალუმინის მისაღები ელექტროლიზების კონსტრუქციის სქემატური ესკიზები.

პირველი აბაზანა კონსტრუირებულია 1888 წელს ერუს მიერ, უკანასკნელი კი თანამედროვე, დიდი დენის ძალაზე (100000 აშ. და მეტი) მომუშავე მძლავრი აბაზანაა.

ცხრილი 7

ალუმინის წარმოება ცალკეულ ქვეყანაში
(ათას ტონობით წელიწადში)

ქვეყნები.	1958 წ.	1960 წ.	1962 წ.	1964 წ.
აშშ	1420	1828	1921	2250
კანადა	557	690	626	670
საფრანგეთი	167	235	295	315
იაპონია	85	133	170	277
ნორვეგია	122	165	205	263
გერ	137	169	179	219
ავსტრალია	11	12	13	91
ავსტრია	57	68	75	78
შვეცია	31	40	50	64
კამერუნი (აფრიკა)	32	44	48	52
დიდი ბრიტანეთი	27	29	36	32
ინდოეთი	8	18	18	—
ბრაზილია	12	20	20	—
შვეიცარია	14	17	17	30
ს უ ლ	2780	3581	3792	4475

ალუმინის მადნები

ალუმინის შემცველი ქანები ბუნებაში ფართოდაა გავრცელებული; მათგან სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს თიხამიწის მაღალი შემცველობის მქონე ისეთ ნედლეულს, რომლიდანაც ამ კომპონენტის (თიხამიწის) ამოღება უფრო მოსახერხებელია და ტექნოლოგიურად გამართლებული. ვინაიდან თიხამიწის ამოღებაზე დიდი ჩაოდენობით იხარჯება ტუტე, ამიტომ მომეტებული ყურადღება ექცევა ტუტე ლითონებისა და ალუმინის ერთდროულად შემცველ ნედლეულს.

ასეთი ნედლეულიდან (მაგალითად, ნეფელინიტიდან), ისევე, როგორც ზოგიერთი სხვა კომპლექსური მადნებიდან (ალუნიტები და

სხვ.), თიხამიწის ამოღება ხშირად ეკონომიურად გამართლებულად ითვლება, მიუხედავად იმისა, რომ მათში ალუმინიანების შემცველობა შეიძლება მაღალი არც იყოს.

ალუმინის მადნებს მიეკუთვნებიან: ბოქსიტები, ნეფელინები, ალუნიტები, კაოლინები (თიხები). ქვემოთ მოგვყავს ამ მადნების მოკლე ფიზიკურ-ქიმიური დახასიათება (ცხრ. 8).

ცხრილი 8

ალუმინის შემცველ მინერალები

დასახელება	ქიმიური ფორმულა	Al ₂ O ₃ -ის შემცველობა, %
კორუნდი	Al ₂ O ₃	100,0
ბემიტი, დიასპორი	Al ₂ O ₃ ·H ₂ O	85,0
ჰიდრარგილიტი, გიბსიტი	Al(OH) ₃	65,4
ნეფელინი	(Na,K) ₂ O·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	32,3
ალუნიტი	K ₂ SO ₄ ·Al ₂ (SO ₄) ₃ ·4Al(OH) ₃	37,0
კაოლინიტი	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	39,0
კრიოლიტი	3NaF·AlF ₃	24,2
ანალციმი	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ ·2H ₂ O	23,2
ანდალუზიტი	Al ₂ O ₃ ·SiO ₂	63,0
მინდერის შპატი	(Na,K) ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂	19,3

ბოქსიტები, გარდა ალუმინის უანგისა, შეიცავენ რკინისა და სილიციუმის უანგეულებს. ალუმინი ბოქსიტში შეიძლება იყოს არა მარტო ჰიდრარგილიტის, არამედ ბემიტისა და დიასპორის სახითაც. ბოქსიტის ხარისხი განისაზღვრება მასში თიხამიწისა და კაემიწის შემცველობით. რაც მეტია ფარდობა Al₂O₃ : SiO₂, მით მაღალია მადნის ხარისხი. განსაკუთრებულად მაღალხარისხოვანი ბოქსიტები, რომლებშიც ეს ფარდობა 10—12-ს აღწევს, გამოიყენება ელექტროთერმული წესით ხელოვნური კორუნდის (ძვირფასი ქვები — ლალი, საფირონი) დასამზადებლად.

საბჭოთა სტანდარტი ითვალისწინებს ბოქსიტებისათვის 9 ხარისხს. ფარდობა Al₂O₃ : SiO₂ პირველი ხარისხის ბოქსიტში (Б—0) აღწევს 10-ს, Al₂O₃-ის შემცველობა ამ ხარისხის ბოქსიტში 52%-ზე მეტია. უკანასკნელი (Б—8) ხარისხის ბოქსიტში თიხამიწის ფარდობა ეცემა ოთხმდე, ხოლო Al₂O₃-ის შემცველობა — 2მ%-მდე.

თიხამიწის გარდა, ბოქსიტები გამოიყენება ცეცხლგამძლე მასალე-
ბად და სპეციალური თიხამიწიანი ცემენტის დასამზადებლად.

ბოქსიტების მოპოვება პირველად დიონჯეს საფრანგეთში, ქალაქ
ბოს მახლობლად; აქედანაა მისი სახელწოდებაც. ბოქსიტების საბადო-
ები ცნობილია აგრეთვე აშშ, ინდოეთში, ჩინეთში, კონგოში, გვინეაში,
განაში, საბერძნეთში, იუგოსლავიაში, უნგრეთში, რუმინეთსა და სხვა
ქვეყნებში.

საბჭოთა კავშირში ცნობილია ტიხვინის საბადო, რომელიც აღმო-
ჩენილია 1916 წელს. ბოქსიტების მდიდარი საბადოები გამოვლინებუ-
ლია აგრეთვე ურალზე, ყაზახეთში, ალტაიში, ბურიატიის ასს რეს-
პუბლიკაში, არხანგელსკის ოლქსა და უკრაინაში.

ქიმიური შედგენილობით ბოქსიტები მრავალგვარია, შეიცავენ ტი-
ტანს (მინერალ რუტილის სახით) და ბევრ სხვა ელემენტს.

ნ ე ფ ე ლ ი ნ ე ბ ი ს მარაგი ფრიად დიდია. მათში Al_2O_3 -ს გარდა,
მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა სხვა სასარგებლო შემდგენლებაც, კერ-
ძოდ Na_2O და K_2O ; უკანასკნელი გარემოება ხდის ნეფელინების შემ-
ცველ კომპლექსურ მადანს ფრიად სასარგებლო ნედლეულად მისგან
თიხამიწის მისაღებად. ნეფელინიანი ქანები შეიცავენ აპატიტსა და
ტუტე მინდვრის შპატებს. ყველაზე მნიშვნელოვანი საბადო ნეფელი-
ნებისა არის კოლის ნახევარკუნძულზე; ამ საბადოს აპატიტ-ნეფელი-
ნიანი ქანები ძირითადად შეიცავენ აპატიტს — $3[Ca_3(PO_4)_2]CaF_2$ -ს და
20—25% ნეფელინს. მათი განცალკევება ხდება გამდიდრებით. აპა-
ტიტს გადაამუშაებენ ძვირფას სასუქად — სუპერფოსფატად, ხოლო
ნეფელინს (რომელიც გროვდება გამდიდრების ნარჩენებში) თიხამიწის
მისაღებად იყენებენ.

კრასნოდარის მხარეში აღმოჩენილ ახალ საბადოში დიდი რაოდე-
ნობით მოიპოვება ე. წ. ნეფელინიანი სიენიტები; რაც უფრო მაღალია
ამ ნედლეულში $Na_2O(K_2O)$ -ს ფარდობა Al_2O_3 -თან, მით მაღალია
მადნის ხარისხი. ამგვარი ნედლეული არის ამიერკავკასიაშიც, კერძოდ
საქართველოსა და სომხეთში.

საქართველოში ცნობილია ქუთაისის ანალციმების საბადო; იგი
შეისწავლა აკადემიკოსმა გ. ძოწენიძემ. ანალციმებიდან თიხამიწის მი-
ღების სამუშაოები შესრულებულა კავკასიის მინერალური ნედლე-
ულის ინსტიტუტში (ე. ნიკოლაიშვილი). SiO_2 -ის მაღალი შემცველო-
ბის გამო, საჭიროა მადნის წინასწარი ქიმიური დამუშავება.

ალუნიტები აგრეთვე კომპლექსური ნედლეულია. თიხამიწასთან
ერთად, მისგან ღებულობენ ტუტე ლითონის სულფატსა და გოგირდ-
მეავას. საბჭოთა კავშირში ყველაზე დიდია ზაგლიკის ალუნიტის სა-
ბადო აზერბაიჯანში. ძველთაგან ცნობილი იყო ქ. კიროვობადის მახ-

ლობლად მლაშე ქვის მთა („შარუა კარ“). ალუნიტები წარმოშობილია ალუმოსილიკატებზე გოგირდოვანი წყლების მოქმედებით. ზაგლიკის ალუნიტები დიდი რაოდენობით შეიცავენ კვარცს.

ალუნიტის მძლავრი საბადოებია იტალიაში, მანჯურიაში, კორეასა და ავსტრალიაში.

ალუნიტების გამოტუტვა მჟავა-ტუტე და კომბინირებული მეთოდებით შესწავლილი იყო გ. ლაბუტინის მიერ. ცდები ჩატარდა ეგრეთწოდებულ აზიაურ-ტუტე მეთოდითაც. ბოლო წლებში დეტალურად შემოწმდა აღდგენითი ტუტე მეთოდი, რომელიც ინერგება წარმოებაში.

კ ა ო ლ ი ნ ი და თ ი ხ ე ბ ი ისევე, როგორც გრანიტები, ალუმინის შემცველი ყველაზე გავრცელებული ქანებია, შეიცავენ კაოლინის. რაც ნაკლებია კვარცის, კალციუმის. მაგნიუმისა და რკინის ქანგის შემცველობა, მით მაღალია მათი ხარისხი; კაოლინს იყენებენ ელექტროთერმული წესით სილიკალუმინის მისაღებად. მაღალი ხარისხის კაოლინი დიდი რაოდენობით გამოიყენება ცეცხლგამძლე მასალების დასამზადებლად.

მაღალხარისხოვანი კაოლინი მოიპოვება უკრაინაში (პლატოვის, ჩასოვიარისა და გლუხოვის საბადოები), ურალზე, ციმბირში და სხვა რაიონებში. თიხა, რომელიც მინარევებიანი კაოლინია, ყველგან მოიპოვება.

ს ი ლ ი მ ა ნ ი ტ უ რ ი ტ ი პ ი ს მ ა დ ნ ე ბ ი ს მ არაგი საბჭოთა კავშირში ძალზე დიდია. მათი გამდიდრებით შეიძლება მივიღოთ $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ -ის მაღალი შემცველობის მქონე კონცენტრატი, რომელიც გამოსადეგი ნედლეულია ელექტროთერმული წესით სილიკალუმინის მისაღებად. ამავე მიზნისათვის პერსპექტიულია ტყიბულის ფიქლებიც. ქართველ მკვლევართა მიერ პროფ. გ. მიქელაძის ხელმძღვანელობით ჩატარებულია სილიკალუმინის მიღების ცდები ტყიბულის ლიბტობიოლიტებიდან და თიხამიწისა და ტყიბულის ნახშირისა და ლიბტობიოლიტების ნაცრიდან (რ. აგლაძე, ი. არაზაშვილი). თავისი შედგენილობით ყურადღებას იპყრობს დასავლეთ საქართველოს ლატერიტებიც.

თიხამიწის წარმოება

თიხამიწა, რომელიც ალუმინის წარმოებაში გამოიყენება, უნდა აკმაყოფილებდეს რიგ მოთხოვნებს; კერძოდ, იგი უნდა იყოს მაღალი სისუფთავის, არ უნდა შეიცავდეს ალუმინზე უფრო დადებითი პოტენციალების მქონე ელემენტებს, სინესტის შემცველობა მასში მინი-

მალური უნდა იყოს. თიხამიწის კრისტალური ფორმა უნდა უზრუნველყოფდეს მის არაჰიგროსკოპიულობას და სწრაფ ხსნადობას კრიოლიტში.

საბჭოთა კავშირში ამზადებენ სხვადასხვა ხარისხის თიხამიწას. მათგან მხოლოდ პირველი ოთხი ხარისხისა (ცხრ. 9) გამოიყენება ალუმინის მრეწველობაში. დანარჩენების მომხმარებელია სალეს-სახეხი (აბრაზიული) და ცეცხლგამძლე მასალების მრეწველობა. როგორც ცხრილიდან ჩანს, ალუმინის მისაღებად გამოყენებული სუფთა თიხამიწა უნდა შეიცავდეს α -მოდითიკაციის Al_2O_3 -ის არანაკლებ 15—20%-ისა. ეს განაპირობებს მის არაჰიგროსკოპიულობას და ამავე დროს საკმაო ხსნადობას გამლღვალ ელექტროლიტში.

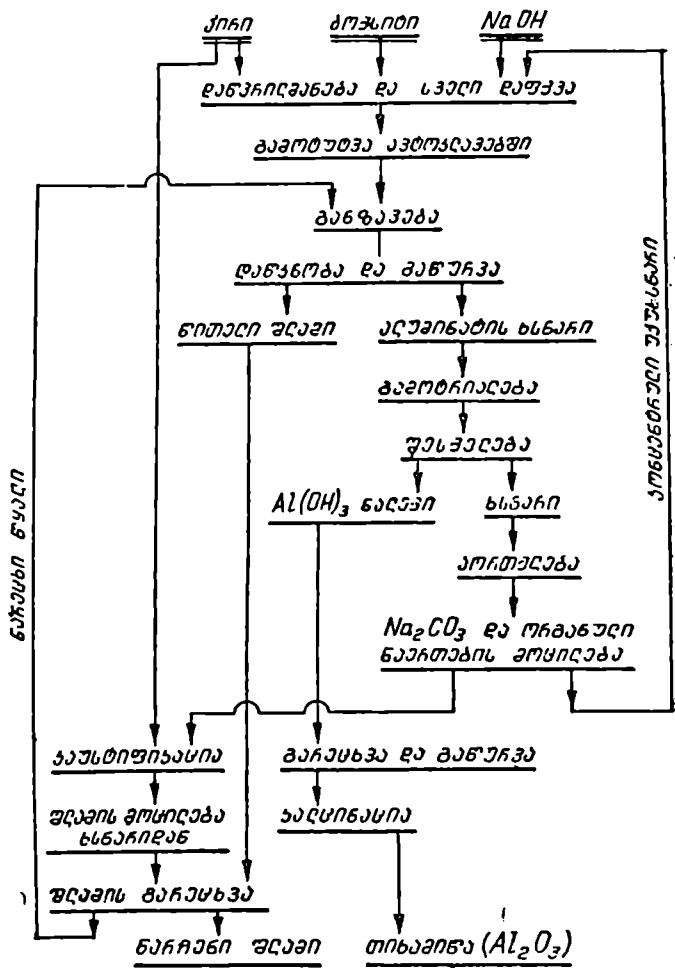
ცხრილი 9

ტექნიკური პირობები თიხამიწაზე
(სახელმწიფო სტანდარტი 6912—61)

მარკა	მ-ნარევებს შ-მკველობა, % არა უმეტეს					გამოყენების სფერო
	დაბაკრები გახურობ სთ- ვია	SiO_2	Fe_2O_3	$Na_2O + K_2O$	$\alpha = Al_2O_3$, % არანაკლები	
ГА—85	1.0	0.07	0.075	0.5	25	ალუმინის მისაღებად
ГА—8	1.0	0.08	0.055	0.6	25	"
ГА—6	1.0	0.15	0.06	0.6	15	"
ГА—5	1.2	0.20	0.08	0.6	10	"
ГЭБ	1.2	0, 0	0,50	0,3	არ ნო ზმირ- ლება	ელექტროკორუნდისათვის
ГО	1.2	0.50	0,1	0,6	"	ცეცხლგამძლე მასალების წარ- მოებისათვის
ГК	0.5	0.50	0.07	0.3	95	ელექტროიზოლატორებისათვის
ГЭХ	0,4	0,60	0,035	0,1	95	ელექტროვაკუუმური ტექნიკისათვის

თიხამიწის ამოსაღებად ალუმინის შემცველი მადნებიდან პირველი მეთოდი იყო შემოთავაზებული. ისინი ძირითადად სამ ჯგუფად შეიძლება დავყოთ: ტუტე, მკავა და ელექტროთერმული მეთოდები. უკანასკნელს მიეკუთვნება კუზნეცოვ — ეუკოვსკის ხერხი, რომელიც ითვალისწინებს ალუმინის შემცველი მადნების წინასწარ დნობას ელექტროლუმენში ან ბრძმედში კალციუმის ალუმინატის შემცველ წიდად და ფეროსილიციუმად. ამ მეთოდით მუშაობს დნეპრის თიხამიწის ქარხანა. ელექტროლუმენებში შიღებული კალციუმის ალუმინატი შემდეგ

გადაპყავთ ნატრიუმის ალუმინატად, რომლიდანაც ლებულობენ თიხამიწას. ელექტროენერგიის დეფიციტურობისა და მაღალი ძაბვის გამო, ამ მეთოდით თიხამიწის მიღება ჩვენში დროებით შეწყდა. თუმცა, იაფი ელექტროენერგიის შემთხვევაში, მას გარკვეული მომავალი აქვს.

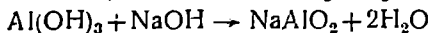
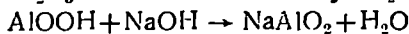
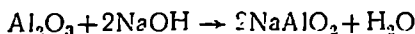


სურ. 16. ბაიერის მეთოდით ბოქსიტებიდან თიხამიწის მიღების სქემა.

მსოფლიოში ყველაზე გავრცელებულია თიხამიწის მიღება ბაიერის მეთოდით. რუსეთში მომუშავე, წარმოშობით ავსტრიელმა ვ. ი. ბაიერმა 1889 წელს აიღო ორი პატენტი. პირველი მათგანის არსი მდგომარეობს ბოქსიტის გამოტუტვაში წნევისა და მაღალი ტემპერატურის გამოყენებით ავტოკლავეში ნატრიუმის ტუტით. ამ დროს Al_2O_3 ხსნარში გადადის ნატრიუმის ალუმინატის სახით. მეორე პატენტი მან აიღო ალუმინის ხსნარიდან ალუმინის ჰიდროქანგის მიღებაზე, რაც განახორციელა ხსნარში ადრე მიღებული ალუმინის ჰიდროქანგის („დედის“) შეყვანით და ინტენსიური მორევიტ („ამოტრიალებით“, — დეკომპოზიციით).

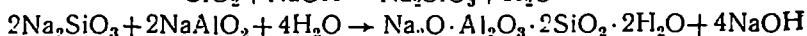
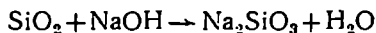
სურ. 16-ზე მოცემულია ბაიერის მეთოდით თიხამიწის ბოქსიტებიდან ამოღების სქემა.

იმისდა მიხედვით, თუ რა სახითაა ალუმინი ბოქსიტში, გამოტუტვისას გვაქვს შემდეგი რეაქციები:



თუ ტუტე ჰარბადაა აღებული, შესაძლებელია არა მარტო მონოალუმინატის ($NaAlO_2$), არამედ ნატრიუმით მდიდარი ნაერთების, მაგალითად, Na_3AlO_3 -ის მიღებაც.

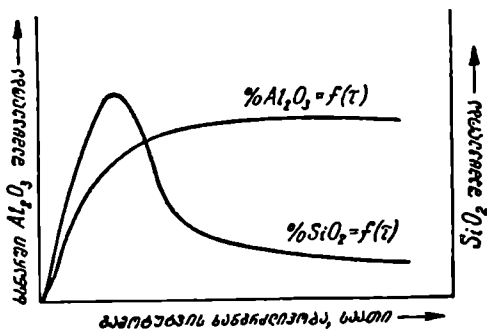
ბაიერის მეთოდით მუშაობისას რკინისა და ტიტანის მოცილება საკმაოდ მარტივია, რადგან მათი ჟანგეულები პრაქტიკულად უხსნადია ტუტე ხსნარებში. ხსნარის განზავებისას ისინი ადვილად გადადიან ნალექში. რაც შეეხება კაემიწას (SiO_2), იგი, პირიქით, კარგად იხსნება ტუტეში და მისი მოცილება ასეთი ხსნარებიდან შედარებით რთულია. ამიტომ გასაგებია, რომ ბაიერის მეთოდით გადამუშავდება ისეთი ბოქსიტები, რომლებშიც კაემიწის შემცველობა მცირეა (არა უმეტეს 5%-ისა). ბოქსიტების ავტოკლავეში გამოტუტვისას კაეზადი ჯერ გადადის ხსნად სილიკატში, რომელიც შემდგომ ურთიერთქმედებს ალუმინთან და გვაძლევს უხსნად ნატრიუმის ალუმოსილიკატს:



მაშასადამე, რაც მაღალია სილიციუმის შემცველობა ბოქსიტში, მით მეტი იქნება ტუტისა და ალუმინის დანაკარგები. ალუმინატური ხსნარების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ე. წ. კაუსტიკური მოღუ-ლი — ფარლობა [Na_2O კაუსტ.]: [Al_2O_3]. საწარმოო პირობებში თიხამიწის მიღების მეთოდისდა მიხედვით ეს ფარლობა საკმაოდ დიდ ფარ-

გლებში იცვლება. ბოქსიტში SiO_2 -ის თითოეული პროცენტი თეორიულად ბოჭავს 6,65 კგ Na_2O და 8,5 კგ Al_2O_3 ყოველ ერთ ტონა გამუშავებულ ბოქსიტზე.

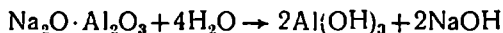
გამოტუტვისას ავტოკლავეში წნევა 20 ატმ-მდე აჰყავთ. განკაუბადების სისრულე დამოკიდებულია ე. წ. კაუბადის მოდულზე ხსნარში — $[\text{Al}_2\text{O}_3] : [\text{SiO}_2]$. განკაუბადება მიმდინარეობს არა მარტო ავტოკლავეში, არამედ მის გარეთაც, ხსნარის განზაუვებისას და რკინის მოცილების პროცესშიც.



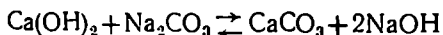
სურ. 17. Al_2O_3 -ისა და SiO_2 -ის შემცველობის ცვლილება ბოქსიტის ავტოკლავეში გამოტუტვის ხანგრძლივობის მიხედვით

სურ. 17 მოცემულია Al_2O_3 -სა და SiO_2 -ის შემცველობა ხსნარში გამოტუტვისას პროცესის ხანგრძლივობისა და მიხედვით.

დეკომპოზიციის პროცესს, როდესაც ალუმინატების ხსნარიდან ხელახლა მიიღება ალუმინის პიდროქანიგი —

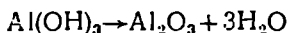


ხელს უწყობს ინტენსიური მორევა და ხსნარში „დედის“ — $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ის წინასწარ შეყვანა. იგი ზრდის კრისტალიზაციის ცენტრების რაოდენობას და აჩქარებს გამოლექვის პროცესს. დეკომპოზიციას ახდენენ სარეველიან აპარატებში. ხსნარის ინტენსიური არევა შეიძლება შეკუმშული ჰაერთაყ. კაუსტიფიკაციის დროს ხდება კაუსტიკური ტუტის რეგენერაცია:

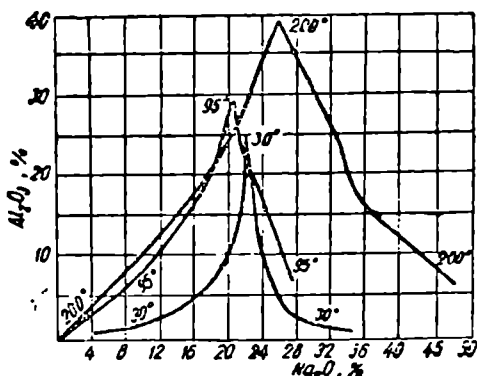


ეს რეაქცია შექცევადია. დეკარბონიზაციის პროცესი კარგად მიდის მხოლოდ კაუსტიკური სოდისა და კარბონატის დაბალი კონცენტრაციის დროს. მათ შორის რეაქციის მიმართულება განისაზღვრება CaCO_3 -ისა და $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის ხსნადობით. სოდის დაბალი კონცენტრაციის დროს წარმოიქმნება სუსტი ტუტე ხსნარი, რომელშიც $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ის ხსნადობა თუმცა შემცირებულია, მაგრამ მაინც მეტია CaCO_3 -ის ხსნადობაზე და კაუსტიფიკაცია პრაქტიკულად თითქმის ბოლომდე მიდის⁸. ტუტის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება თავისუფალ OH^- იონთა კონცენტრაცია და სხვაობა ხსნადობაში $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -ისა და CaCO_3 -ს შორის მცირდება. როდესაც ეს სხვაობა ნულს უტოლდება, მყარდება წონასწორობა. წარმოქმნილი ტუტის კონცენტრაციის შემდგომი გაზრდისას რეაქცია გადაადგილდება NaOH -დან Na_2CO_3 -ის წარმოქმნისაკენ.

კალცინაციის პროცესი ტარდება 1300° -ზე გრძელ, ცემენტის გამოსაწვავი მბრუნავი ლუმლებისმავეარ დანადგარში. ამ დროს მიმდინარეობს რეაქცია:



თიხამიწის წარმოება მოითხოვს ორთქლისა და წყლის დიდ ხარჯს. ერთი ტონა თიხამიწის ბაიერის მეთოდით მიღებისას იხარჯება 2,2 — 2,5 ტ ბოქსიტი; 0,11 ტ NaOH ; 0,12 ტ კირი; 320 კვტ/სთ ელექტრო-

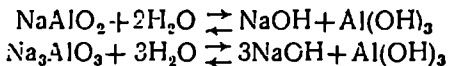


სურ. 18. Al_2O_3 — Na_2O — H_2O სისტემის იზოთერმები

⁸ კაუსტიფიკაციის პროცესის შავალითა აგრეთვე კარბონატის შემცველი ხსნარების რეგენერაცია რუსთავეის ქიმიურ ჭარხანაში კალიუმპერმანგანატის მიღებისას ფერომანგანუმის ანოლური გახსნის მეთოდით, რაც ჩვენ მიერ არის დამუშავებული.

ენერჯია; 8—10 ტონა ორთქლი; 150 მ³ წყალი და 0,30 ტონამდე პირობითი სათბობი (1700 კალ/ტ).

სურ. 18-ზე მოცემულია $Al_2O_3-Na_2O-H_2O$ ხსნადობის იზოთერმები ტემპერატურის სამი მნიშვნელობისათვის. თითოეული იზოთერმი შედგება ორი მონაკვეთისაგან. ეს მრუდები სამივე შემთხვევაში ერთმანეთს კვეთს წვეტიან მაქსიმუმში. იზოთერმების ასეთი სახე აიხსნება იმით, რომ ნატრიუმის ალუმინატი წყალხსნარში განიცდის ჰიდროლიზს — იშლება მყარ ფაზაში ალუმინის ჰიდროქსიდის გამოყოფით:



რეაქცია მიმდინარეობს წონასწორული მდგომარეობის დამყარებამდე. წონასწორულ მდგომარეობას ყოველ ტემპერატურაზე შეესაბამება ხსნარში Al_2O_3 და Na_2O -ის გარკვეული კონცენტრაცია და სათანადო წერტილი იზოთერმის მარცხენა მონაკვეთზე.

ბაიერის მეთოდით თიხამიწის მიღებისას ალუმინატური ხსნარები დეკომპოზიციის პროცესის ტემპერატურაზე წარმოადგენენ ჰიდრარგილიტით გაჯერებულ ხსნარებს და მათ იზოთერმის მარცხენა მონაკვეთის ზევით მდებარე ფართი შეესაბამება.

ხსნარში Na_2O -ს კონცენტრაციის გაზრდა ამცირებს ალუმინატის დაშლის ხარისხს. Na_2O -ს მაღალ კონცენტრაციას შეესაბამება Al_2O_3 -ის ასევე მაღალი კონცენტრაცია, რაზედაც მიგვითითებს იზოთერმის მარცხენა შტოს არსებობა. იზოთერმის მაქსიმუმში H წერტილში (სურ. 5) შეესაბამება ხსნარს, რომელიც ერთდროულად წონასწორულ მდგომარეობაშია როგორც ჰიდრარგილიტთან, ისე ალუმინატთან. Na_2O -ს კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა იწვევს მყარი ნატრიუმალუმინატის გამოლექვას. Al_2O_3 -ის შემცველობა ხსნარში მკვეთრად მცირდება. იზოთერმის მარჯვენა მონაკვეთი შეესაბამება ნატრიუმის ტუტეში ნატრიუმალუმინატის წონასწორულ ხსნარებს.

იზოთერმა დიაგრამის ფართს სამ ნაწილად ჰყოფს. პირველი უბანი დიაგრამისა განლაგებულია იზოთერმის მარცხენა მონაკვეთის ზევით. იგი შეესაბამება ნატრიუმის ტუტეში ალუმინის ჰიდროქსიდის გადაჯერებულ ხსნარებს. ამ უბნის მინიმუმის წერტილები, რომლებიც იზოთერმის მარჯვენა მონაკვეთზე მდებარეობენ, წარმოადგენენ პიდრარგილიტის ნატრიუმის ტუტესთან წონასწორულ ხსნარებს. ტუტის კონცენტრაციის გაზრდით ჰიდრარგილიტის ხსნადობა იზრდება. თავისი შედგენილობის მიხედვით დიაგრამის პირველი უბნის ხსნარები არასტაბილური არიან და, ისწრაფიან რა წონასწორული მდებარეობისაკენ, იშლებიან ალუმინის ჰიდროქსიდის გამოყოფით.

დიაგრამის მეორე უბანი, რომელიც იზოთერმის ორი (GH და HO) მონაკვეთის შიგნით არის მოთავსებული, წარმოადგენს მოცემულ ტემპერატურაზე ნატრიუმის ტუტეში ალუმინის ჰიდროქსიდისა და ნატრიუმალუმინატის მაძლარი ხსნარების უბანს. დიაგრამის მესამე უბანი, რომელიც განლაგებულია იზოთერმის მარცხენა (HO) მონაკვეთის ზემოთ, შეესაბამება ნატრიუმის ტუტეში ნატრიუმალუმინატის გადაჭერებულ ხსნარებს. თვით მონაკვეთზე განლაგებული წერტილები შეესაბამებიან წყლიანი ნატრიუმის მონოალუმინატის ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$) წონასწორულ ხსნარებს ნატრიუმის ტუტეში. მრუდის (სურ. 18) ხასიათი გვიჩვენებს, რომ ტუტის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად მცირდება ხსნარში ალუმინატის ხსნადობა. მესამე უბანში ხსნარები, ისევე, როგორც პირველ უბანში, არასტაბილურნი (უმდგრადი) არიან და, ისწრაფვიან რა წონასწორული შედგენილობისაკენ, მყარ ფაზაში წყლიან მონოალუმინატს გამოყოფენ.

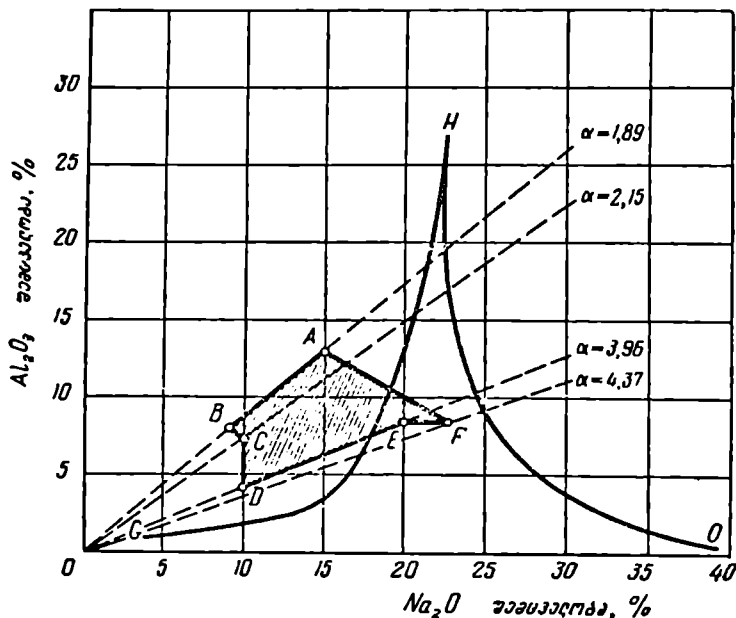
ბაიერის მეთოდით მუშაობისას გამოყენებული ხსნარების შედგენილობა შემოიფარგლება I და II უბნებით. აქ თიხამიწის წარმოების ცალკეული ოპერაცია შეიძლება განვიხილოთ როგორც პროცესი, დაკავშირებული ხსნარების კაუსტიკური ფარდობისა და ალუმინატის კონცენტრაციის ცვლილებასთან. პროცესის წარმადობის გამომსახველია ძირითადად ალუმინატის ხსნარების დაშლის (ე. წ. დეკომპოზიციის) ოპერაცია, რომელიც 30° -ზე ან მასთან ახლო ტემპერატურაზე ტარდება. ამ ტემპერატურაზე პროცესის სხვადასხვა საფენურზე ხსნარების ანალიზის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ ბაიერის პროცესის ძირითადი ოპერაციების (გამოტუტვა, განზავება, ამოტრიალება და აორთქლება) შესაბამისი იზოთერმები. ამ მეთოდით — იზოთერმების შედარებით მიიღება ერთი მთლიანი იზოთერმული ციკლი.

სურ. 19-ზე Al_2O_3 — Na_2O — H_2O სისტემის იზოთერმასთან ერთად მოცემულია ასეთი პროცესის სრული ციკლი 30° ტემპერატურისათვის. დიაგრამა აგებულია ურალის ალუმინის ქარხნის საცდელი სააპქროს მონაცემების საფუძველზე.

ბაიერის პროცესის ციკლი იწყება ბოქსიტის გამოტუტვით. დიაგრამაზე ტუტე ხსნარის შედგენილობას შეესაბამება F წერტილი, რომელიც მდებარეობს ჰიდრარგილიტით ნაჯერი ხსნარების უბანში. გამოტუტვის დროს ერთდროულად იცვლება ხსნარის კაუსტიკური ფარდობა (4,37—1,89) და ხსნარის კონცენტრაცია (ხსნარის სიმკვრივე მცირდება 1,422-დან 1,384-მდე). სათანადოდ იზრდება ხსნარში Al_2O_3 -ისა და მცირდება Na_2O -ს შემცველობა. ხსნარს გამოტუტვის შემდეგ შეესაბამება A წერტილი. Al_2O_3 -ის კონცენტრაციის გაზრდის

შედგად ხსნარი 30°-ზე ხდება ზენაჯერი. FA ხაზი შეესაბამება გამოტუტვის პროცესს.

შემდეგი საფეხურია ავტოკლაუზური პულპის განზავების ოპერაცია, რაც პრაქტიკულად ხასიათდება მუდმივი კაუსტიკური ფარდობით ($\alpha=1,89$). მიღებულ განზავებულ ხსნარს შეესაბამება წერტილი B. განზავების ხაზია AB. განზავების შემდეგ ხსნარს შეეწვევა ალუმინის ჰიდროქსიდი. რომელსაც მოყვება გარკვეული რაოდენობა დედახსნარისა, რის შედეგადაც რამდენადმე იცვლება კონცენტრაცია და იზრდება კაუსტიკური ფარდობა (1,8-დან 2,15-მდე). დიაგრამაზე ამ პროცესს შეესაბამება მოკლე ხაზი BC. თუ ამოტრიალებს პროცესში $Al(OH)_3$ -ის დალექვის დასაჩქარებლად დეკომპოზერში დამატებულ



სურ. 19. ბაიერის პროცესის ციკლი და $Al_2O_3-Na_2O-H_2O$ სისტემის იზოთერმა (30°)

ჰიდროქსიდის ულუფა („დედას“) წინასწარ კარგად ირეცხება, BC მონაკვეთი ისპობა.

შემდეგი ოპერაცია ალუმინატის ხსნარის დაშლაა. ამ პროცესის დროსაც ერთდროულად იცვლება როგორც ხსნარის კონცენტრაცია, 62

ისე კაუსტიკური ფარდობის მაჩვენებელი (მოდული α_k). ამასთან კონცენტრაცია მცირდება და კაუსტიკური ფარდობა ხსნარისა იზრდება 3.96-მდე. ეს აიხსნება მყარ ფაზაში ჰიდრარგილიტის გამოყოფით. CD მონაკვეთი შეესაბამება სწორედ ამ პროცესს.

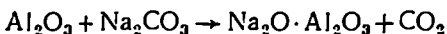
ტუტე ღედახსნარის აორთქლებისას კაუსტიკური მოდული მუდმივია ($\alpha_k = 3,96$). აორთქლებისას იზრდება ხსნარის კონცენტრაცია, რომელიც თავისი შედგენილობით გადადის არამაძლარი ხსნარების უბანში. DE ხსნარების აორთქლების შესაბამისი მონაკვეთია. ტუტის დანაქარების შესავსებად ხსნარში შეჰყავთ ნატრიუმის ტუტის გარკვეული რაოდენობა, რასთანაც დაკავშირებულია α_k -ს 4,37-მდე ზრდა. ამასთან იცვლება ხსნარის კონცენტრაცია. კონცენტრირებულ ხსნარს შეესაბამება E წერტილი. EF ხსნარში ტუტის დამატების კორექტირების ხაზია. დაშტრიხული მრავალკუთხედი ABCDEF წარმოადგენს, ამრიგად, ბაიერის პროცესის მთელ ციკლს. მისი ფართი პროცესის ეფექტურობის მაჩვენებელია.

თიხამიწის მიღება შამცხოვის მეთოდით

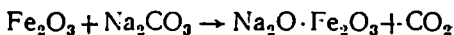
ამ მეთოდით ხდება კაემიწის შედარებით მაღალი შემცველობის მქონე ბოქსიტების გადამუშავება (ნახ. 20). ბოქსიტის აღმდგენელი კოქსისა და სოდის შეცხოებისას ლუმელში ტემპერატურა 1200—1300°-მდე აჰყავთ. კაზში შემდეგი კომპონენტები გვაქვს: თიხამიწა, კაემიწა, Fe_2O_3 , აგრეთვე Na_2O და CaO (კარბონატების სახით).

კაზმის შეცხოვა ფრიალ მნიშვნელოვანი ოპერაციაა. შეცხოებისას საჭიროა შეიქმნას ისეთი პირობები, რომლებიც ხელს შეუწყობს ალუმინის ხსნადი და კაემიწის უხსნადი ნაერთების წარმოქმნას. ამას აღწევენ ტემპერატურისა და კაზმის შედგენილობის ცვლილებით.

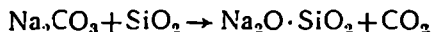
ამავე დროს მიღებული კაზმი ადვილად ფშენადი უნდა იყოს. თიხამიწასა და Na_2CO_3 -ს შორის ურთიერთქმედება იწყება 700°-ზე, ხოლო 1150°-ზე სავსებით მთავრდება β -ალუმინატის წარმოქმნით:



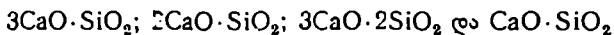
რკინის უანგსა და ნატრიუმკარბონატს შორის ურთიერთქმედება კიდევ უფრო ადრე, 500°-ზე იწყება:



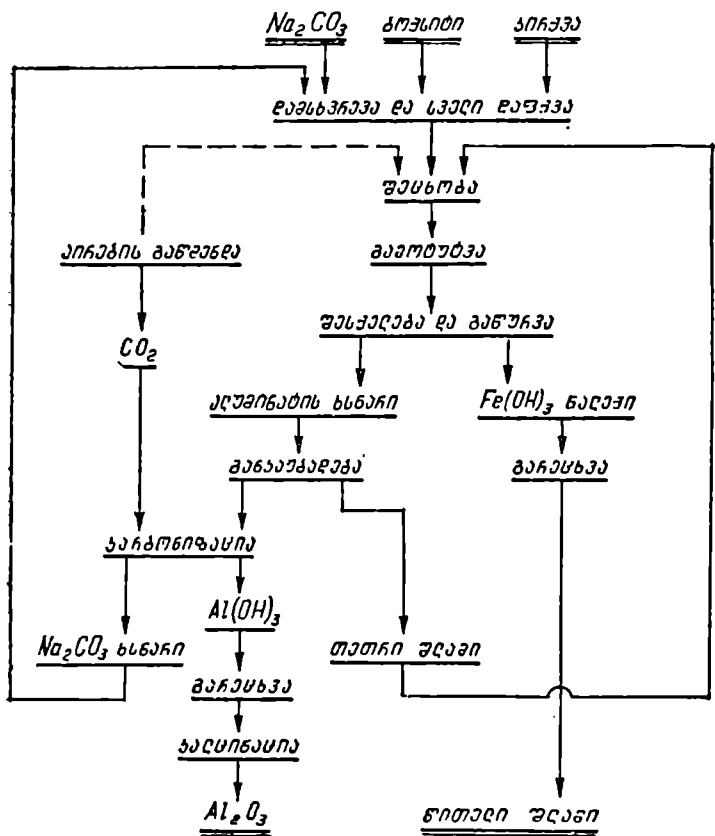
კაემიწა წარმოქმნის ნატრიუმის სილიკატს:



შესაძლებელია სხვა ნაერთების წარმოქმნაც:



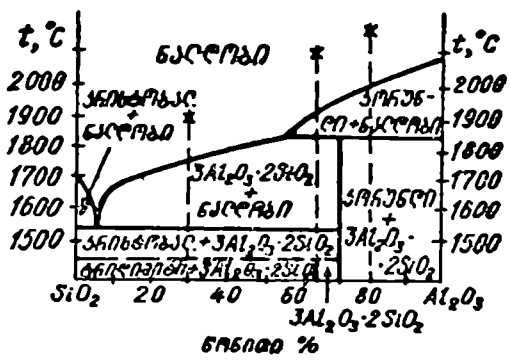
ნატრიუმსულფატისა და ალუმინატის ურთიერთქმედებით მიიღება ორმაგი ნატრიუმის ალუმოსილიკატი — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.



სურ. 20. თიხამწის მიღების სქემა შეცხოვის მეთოდით

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ სისტემის დიაგრამაზე აღინიშნება აგრეთვე $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; $3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ და კალციუმის სხვა ალუმინატები. კალციუმის ალუმოსილიკატების წარმოქმნის მრავალკუთხედები მოცემუ-

ლია $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ დიაგრამაზე. CaO -სა და SiO_2 შორის ურთიერთქმედება იწყება $1000-1100^\circ\text{-ზე}$, $1150-1250^\circ\text{-ზე}$ კი წარმოიქმნება კალციუმის ორმაგი სილიკატი. ტემპერატურის შემდგომი აწევით იგი ურთიერთქმედებს კაზმის დანარჩენ კომპონენტებთან. ეს პროცესი საკმაოდ რთულია და მისი დეტალების გასათვალისწინებლად საჭიროა გარკვევა მდგომარეობის როგორც ორმაგ (სურ. 21, 22, 23), ისე სამმაგ (სურ. 24) დიაგრამებში. ეს დიაგრამები იძლევიან წარმოდგენას კომპონენტთა ურთიერთქმედების საბოლოო პროდუქტებზე.



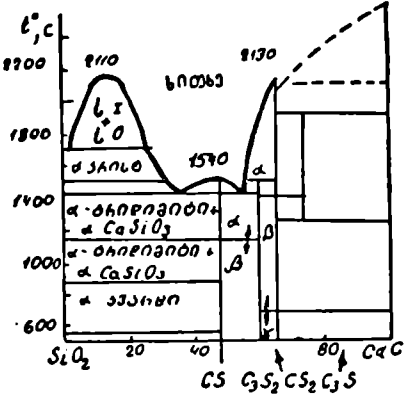
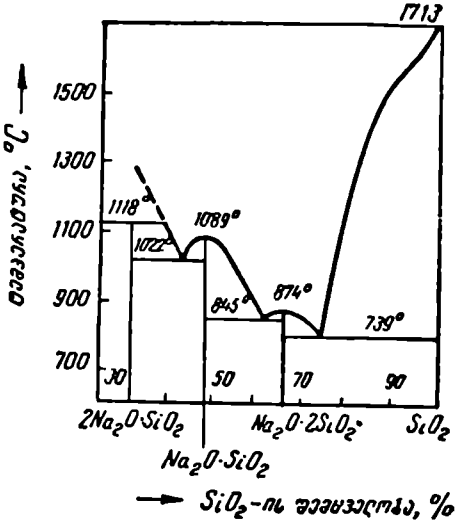
სურ. 21. $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

მოყვანილი დიაგრამების დეტალების გარჩევას აქ არ შეუძლებელია, რადგანაც ისინი კარგადაა ახსნილი სპეციალურ სახელმძღვანელოებში.

შეცხოვის მეთოდით თიხამიწის მიღებისათვის სასურველი კაზმის შედგენილობა დაშტრიხულია სამმაგ დიაგრამაზე (ნახ. 24). ამ შედგენილობის ნაერთები გაცივებისას ადვილად იფუშნება, რაც მათ მნიშვნელოვან დადებით ტექნოლოგიურ თვისებად ითვლება და აიხსნება ორკალციუმიანი სილიკატის ალოტროპიული სახეცვლილებით; ამ დროს ხდება მოცულობის საგრძნობი (10%-ით) შეცვლა.

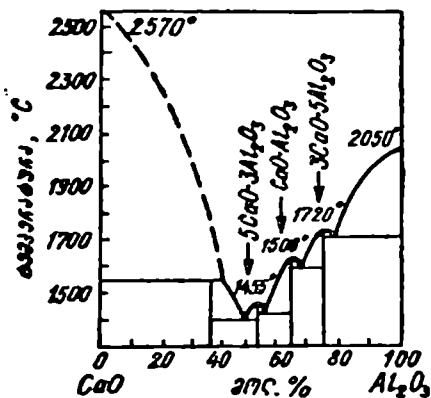
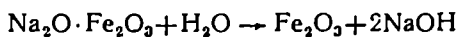
შეცხოვის პროცესი მიმდინარეობს გრძელ მბრუნავ ლუმელებში. საწვავი აირები და კაზმი ლუმელში საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობს. პირველ საფეხურზე, სადაც უფრო დაბალი ტემპერატურაა, ხდება კაზმის გამოშრობა და გაუწყლოება. მეორე საფეხური კალციონაციის ზონაა. თვით შეცხოვა ხდება მესამე ზონაში, მაღალ ($1200-1250^\circ$) ტემპერატურაზე. მეოთხე, გაცივების ზონიდან კაზმი იყრება

მაცივარში, რომელიც გარედან ცივდება წყლით და შიგნიდან ჰაერით. ღუმლიდან გამოსული ნამუშევარი აირების ტემპერატურა 180—200°-ს აღწევს.



სურ. 22. ა) $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ და ბ) $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამები

ლუმლიდან მიღებულ შეცხოვილ მასას გამოტუტავენ ნარეციხი წყლით. კაზმში მყოფი ნატრიუმალუმინატი კარგად იხსნება და გადადის ხსნარში, ნატრიუმის ფერიტი კი გახსნისას იშლება:

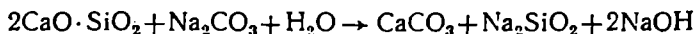


სურ. 23. CaO—Al₂O₃ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

ორკალციუმიანი სილიკატი წყალში განიცდის ჰიდრატაციას უხსნადი ერთკალციუმიანი სილიკატისა და კალციუმის ჰიდროქანგის წარმოქმნით:



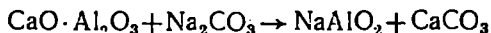
სოდასთან ურთიერთქმედებისას მიმდინარეობს რეაქცია:



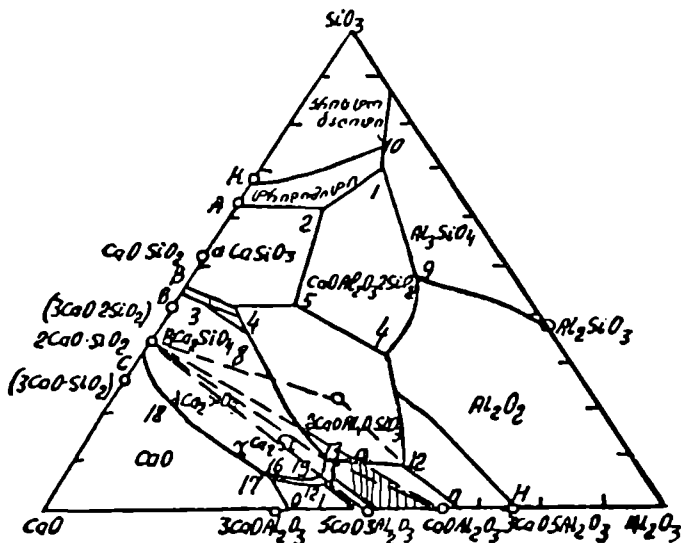
კალციუმალუმინატი წყალში არ იხსნება, მაგრამ განიცდის ჰიდრატაციას, რომლის შედეგად იღეჭება სამკალციუმიანი ჰიდროალუმინატი და ალუმინის ჰიდროქანგი:



კალციუმის ალუმინატი ნატრიუმკარბონატთან ურთიერთქმედებს შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



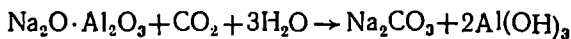
ანალოგიურად მიმდინარეობს რეაქცია კალციუმის ჰიდრატაციის შედეგად მიღებულ სამკალციუმიან ჰიდროალუმინატთან:



სურ. 24. Al_2O_3 — CaO — SiO_2 სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

მაშასადამე, ალუმინის მაქსიმალურად ხსნარში გადაყვანისათვის გამოსატუტ ხსნარში თითოეული მოლეკულა CaO -ზე უნდა იყოს არანაკლებ ერთი მოლეკულა Na_2CO_3 -ისა. ალუმინატების ხსნარიდან ალუმინის ჰიდროქანგს გამოლექავენ ნახშირორჟანგის გატარებით.

კარბონიზაციის პროცესი შემდგომში მდგომარეობს:



როგორც აღნიშნული იყო ბაიერის მეთოდის განხილვისას, განკაუბადების მიღწევა შეიძლება ხსნარის ხანგრძლივი გათბობით და დაყოვნებით. წარმოიქმნება ცუდად ხსნადი ნალექი — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. აღნიშნული ხსნარის კირთან ერთად გაცხელება კიდევ

უფრო უხსნად ნალექს — „თეთრ შლამს“ ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) გვაძლევს.

ქარხნებში ზოგჯერ იყენებენ თიხამიწის მიღების ე. წ. შერეულ მეთოდს. ეს მეთოდი მდგომარეობს ბაიერისა და შეცხოების მეთოდის კომბინირებაში. ერთ-ერთი ასეთი კომბინირებული მეთოდი შემოგვთავაზა ჯერ კიდევ 1935 წელს ფ. მაიზელმა. ამ სქემით ბოქსიტის ერთი ნაწილი მიდის პირდაპირ გამორტუტვაზე ბაიერის სქემით, ხოლო მეორე — შეცხოებაზე. შეცხოების ლუმელში ბოქსიტთან ერთად, კირქვის გარდა, ტვირთავენ ბაიერის ციკლიდან დარჩენილ „წითელ შლამს“,

ცხრილი 10

ბაიერის მეთოდით მიღებული 1 ტ თიხამიწის თვითღირებულების კალკულაცია

დასახელება	ხარჯი	% სააშკროს ღირებულებიდან
ნ ე ლ ე უ ლ ი		
ბოქსიტი	2,4 ტ	35,0
კირი	0,07 ტ	1,5
კირქვა	0,20 ტ	1,0
სოდა	0,26 ტ	10,0
სულ		47,5
დ ა მ ხ მ ა რ ე მ ა ს ა ლ ე ბ ი დ ა ს ა თ ბ ო ბ ი		
ფილტრის ქსოვილი	1,30 მ ²	2,0
ნახშირი	0,4 ტ	3,0
გენერატორის აირი	1400 მ ³	7,0
სულ		12,0
ე ლ ე კ ტ რ ო დ ა ნ ა ხ ა რ ჯ ე ბ ი		
ელექტროენერგია	280 კვტ-სთ	3,5
ორთქლი	8,5 ტ	25,0
წყალი	125 მ ³	2,0
სულ		32,5
ბელფასი დანარიცხებით		4,0
შენობისა და მოწყობილობის ამორტიზაცია		2,0
ზედნადები ხარჯები		4,0
სააშკროს ღირებულება		100

რომელიც ბოქსიტში კაჟმიწის შემცველობის გამო დიდი რაოდენობით შეიცავს ალუმინს $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ -ის სახით. ნამცხვის გამოტუტვის შედეგად მიღებული ალუმინატის ხსნარი უერთდება ბაიერის ციკლიდან მიღებულ უკუსხნარს და გამოიყენება ბოქსიტების გამოტუტვისათვის. ასეთი კომბინაცია შესაძლებლობას იძლევა ნატრიუმის ტუტე შევცვალოთ კარბონატით და, მაშასადამე, თიხამიწა ამოვიღოთ მაღალკაჟბადიანი ბოქსიტებიდანაც.

ცხრ. 10-ში მოცემულია თიხამიწის თვითღირებულების კალკულაცია წარმოებაში გამოყენებული კომბინირებული სქემისათვის.

ნეფელინების გადამუშავებისას, მათში ტუტე ლითონების (Na, K) მაღალი შემცველობის გამო შესაძლებელი ხდება თიხამიწის გამოლექვის შემდეგ პოტაშისა და სოდის მიღება. კალციუმისა და კაჟმიწის შემცველი ნარჩენი შლამები პორტლანდცემენტის მისაღებად გამოიყენება.

ვ. პონომარიოვისა და ვ. საჟინის გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ თიხამიწის ამოღება ნეფელინიდან შესაძლებელია არა მარტო მაღალ ტემპერატურაზე კირქვასთან შეცხობით, არამედ შეუცხობლადაც, ჰიდროქიმიური წესით — კირქვასთან და კაუსტიკურ სოდასთან ერთად გამოტუტვით ავტოკლავებში.

სომხეთის (ტეჟარის) მაღალკაჟმიწიანი ნეფელინური სიენიტების გადასამუშავებლად სომხეთის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსის მ. მანველიანის მიერ შემოთავაზებულია ჰიდროქიმიური მეთოდი. ამ მეთოდის მიხედვით ავტოკლავში ხდება კონცენტრირებული ტუტით მადნის წინასწარი გადამუშავება, რომლის დროსაც მას სცილდება ჭარბი კაჟმიწა; დარჩენილ ნალექში (იგი ძირითადად ტუტე ლითონთა ჰიდროალუმოსილიკატისაგან შედგება) თიხამიწის შემცველობა 29%-ს აღწევს, ხოლო ტუტეებისა — 27%-ს. ასეთი ნედლეული უკვე გამოსადეგია თიხამიწის მისაღებად. ამ მეთოდით, თიხამიწის გარდა, წარმოება დამატებით იღებს აგრეთვე ნატრიუმის მეტასილიკატს („ერევანიტის“ სახელწოდებით), პოტაშსა და ლამებს, რომლებიც გამოიყენება ცემენტის მისაღებად.

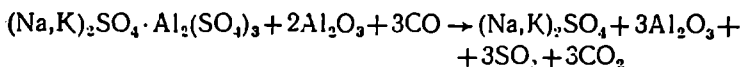
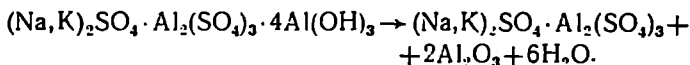
თიხამიწის მიღება ალუნიტებიდან

ალუნიტების გადამუშავების აღდგენითი ტუტე მეთოდი გულისხმობს მადნის გაუწყლოებისა და აღდგენის პროცესების ჩატარებას მდუღარე შრის ლუმელებში. გაუწყლოებას ახდენენ $500-520^{\circ}\text{C}$ -ზე, ხოლო აღდგენას — $520-540^{\circ}\text{C}$ -ზე. ასეთი ვიწრო ტემპერატურული ინტერვალის დადგენა გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ ალუნიტის მაღალ

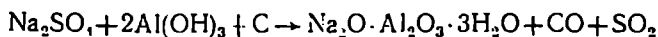
ტემპერატურაზე გახურებისას წარმოქმნილ Al_2O_3 -ს დაბალი აქტივობა ახასიათებს. რადგან გაუწყლოებას და აღდგენას ახდენენ სხვადასხვა ლუმელში, მიღებული SO_2 -ის კონცენტრაცია მაღალია და იგი გამო-სადეგია გოგირდმკვავას მისაღებად. აღდგენის პროცესს წარმართავენ ისე, რომ მადანში შემავალი ალუმინსულფატის 15% აღუდგენელი დარჩეს. ამ ნარჩენი გოგირდის შებოჭვა ხდება მადანში შემავალი ნატრიუმითა და კალიუმით.

აღდგენილ ალუმინტს გამოტუტავენ 110—120 გ/ლ Na_2O -ს შემცველი ტუტე ხსნარით. მიღებული ალუმინატსულფატური ხსნარი შეიცავს 100 გ/ლ Al_2O_3 და 30—40 გ/ლ SO_3 -ს. ძირითადად კაემიწის შემცველი ხსნარის მოცილების შემდეგ ალუმინატის ხსნარს იყენებენ თიხამიწის მისაღებად ბაიერის მეთოდით. განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ ამ ხსნარიდან წინასწარი აორთქლების შემდეგ იღებენ ნატრიუმისა და კალიუმის სულფატებს. სულფატების ნაწილი იხარჯება განკაებადების პროცესში ტუტე ლითონის ალუმინსულფატის წარმოქმნაზე.

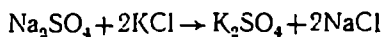
მიმდინარე პროცესები აღდგენითი გამოწვისა და გაუწყლოების რეაქციებით გამოიხატება:



დანაკარგების კომპენსაციის მიზნით ტუტე ლითონების სულფატების ნაწილს შეაცხობენ ალუმინის ჰიდროჟანგთან. ვიღებთ ალუმინატს:



გამოტუტვით მიღებულ ალუმინატს აბრუნებენ ძირითად ციკლში. ნატრიუმისა და კალიუმის სულფატების ხსნარს გადაამუშავებენ კალიუმის სასუქად, რისთვისაც ხსნარს ამატებენ კალიუმქლორს. ხდება კონვერსია:

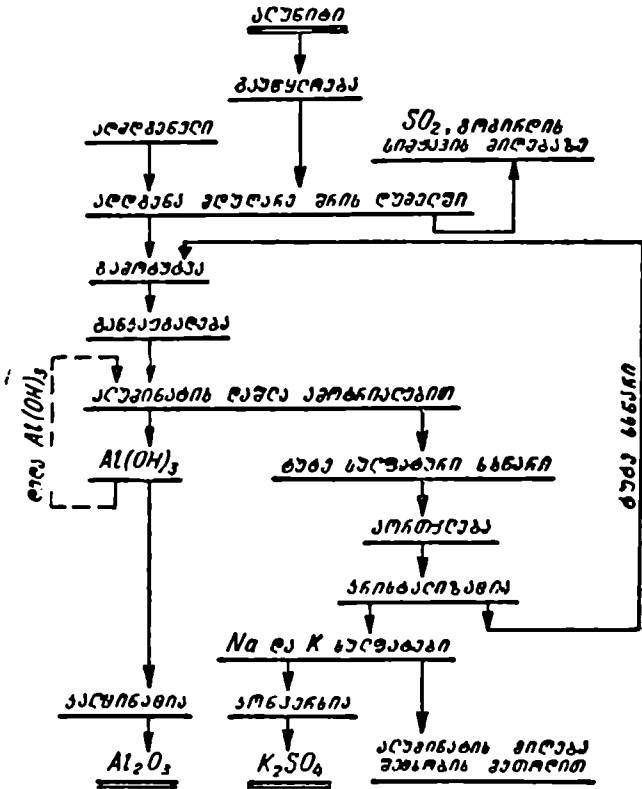


„მდულარე შრის“ ლუმლებში სითბოს შემომტანია მაღალი წნევის შქონე ცხელი საკვამლე აირები.

ერთ ტონა თიხამიწის მიღებაზე იხარჯება 6 ტ 15% ალუმინის შემცველი ალუმინტის მადანი, 700 მ³ აირი (თბოუნარიაანობით 1450

კალ/მ³) და 7 ტ ორთქლი. ნარჩენის სახით მიიღება 1,3 ტ გოგირდმევა და 0,235 ტ კალიუმის სულფატი, რისთვისაც დამატებით გვეჭირდება 0,14 ტ კალიუმქლორი.

ალუმინატებიდან თიხამიწის მიღების ტექნოლოგიური სქემა მოცემულია სურ. 25-ზე.



სურ. 25. ალუმინატების გადამუშავების სქემა

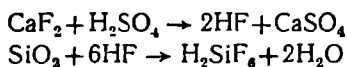
კრიოლიტის წარმოება

კრიოლიტი ბერძნულად ნიშნავს „ყინულის ქვას“, ვინაიდან ძალიან ჰგავს ყინულს. წყალში იგი თითქმის შეუმჩნეველია წყლისა და კრიოლიტის გარდატეხის მაჩვენებლის ტოლობის გამო.

საბჰოთა კავშირის ალუმინის მრეწველობა იყენებს ხელოვნურ კრიოლიტს, რომელსაც ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული მლღობი შპატიდან (ფლუორიტი, CaF_2) იღებენ.

კრიოლიტისა და ფტორმარილების წარმოებაში ფართოდაა გამოყენებული ჰუმირებული და ბაკელიტის ფისით დაკავშირებული ნახშირის ბლოკებით ამოგებული აპარატურა. მღღობი შპატის შემცველ მადანს წინასწარ ამდიდრებენ მექანიკური მეთოდებით ან ფლოტაციით. გამდიდრებისას მას სცილდება მინარევები (CaCO_3 ; SiO_2 ; Fe_2O_3 და სხვ.). კრიოლიტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა მოცემულია მე-12 ნახაზზე.

ქიმიური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობს კრიოლიტის მიღებისას, შემდეგია:



მბრუნავ ღუმლისმაგვარ აპარატში, რომელშიც ეს რეაქციები მიდის, ტემპერატურა 350° -ს აღწევს. ღუმლიდან გამოსული აირები (HF და H_2SiF_6) შთაინთქმება წყლით. განეიტრალება ორ საფეხურად მიმდინარეობს. პირველ სტადიაზე უმატებენ ნატრიუმკარბონატს იმ ვარაუდით, რომ მოხდეს მხოლოდ განკაუბლება:



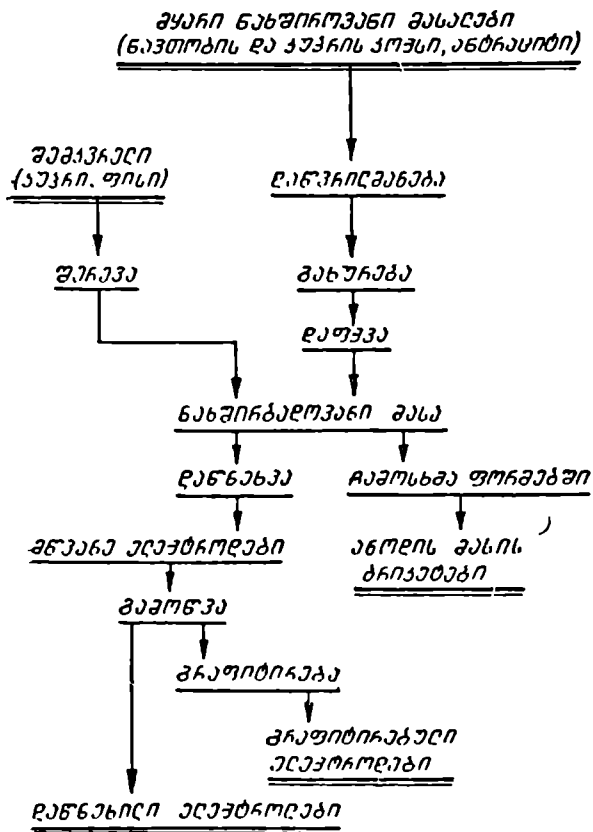
ხსნარის გაწურვისა და Na_2SiF_6 -ის მოცილების შემდეგ კრიოლიტის მისაღებად უმატებენ Na_2CO_3 -ისა და $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ის დანარჩენ რაოდენობას:



კრიოლიტის მიღების პროცესში წარმოქმნილი ფტორწყალბად-მქეავს განეიტრალებისათვის საჭირო Na_2CO_3 და $\text{Al}(\text{OH})_3$ შეიძლება შეეცვალოს ალუმინატის ხსნარით.

NaF ან AlF_3 -ის მისაღებად, განკაუბლების შედეგად მიღებულ ფტორწყალბადმქეავს ანეიტრალებენ ან მხოლოდ Na_2CO_3 -ით, ანდა მხოლოდ $\text{Al}(\text{OH})_3$ -ით.

ტექნიკური NaF გამოიყენება რკინიგზის შპალების გასაყენთად. ნარჩენი Na_2SiF_6 -დან კი შეიძლება მივიღოთ NaF , რომელზედაც მოთხოვნილება აქვს სოფლის მეურნეობის დარგებსაც.



სურ. 26. ელექტროდული მასალების წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

ელექტროდების წარმოება

რუსეთში ნახშირის ელექტროდების წარმოება ჯერ კიდევ გასულ საუკუნეში აითვისეს კინეშმისა და კუდინოვოს ქარხნებში, მაგრამ ეს წარმოებები მხოლოდ პატარა ზომის ელექტროდებს უშვებდნენ ელექტრორკალისა და გალვანური ელემენტებისათვის და ისიც პცირე მასშტაბით. ისეთი ელექტროდული მასალების წარმოება კი, რომელაც უზრუნველყოფდა მეტალურგიულ მრეწველობას, ჩვენში ფაქტიურად

ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ შეიქმნა და განვითარდა, რაც განპირობებული იყო მათი ძირითადი მომხმარებლის — ალუმინის მრეწველობის აღმავლობით.

ელექტროდის დანიშნულებაა დენის მიყვანა ელექტროლიტთან ან კაზმთან. მას უნდა ახასიათებდეს მაღალი ელექტროგამტარობა და ქიმიური მედეგობა მაღალ ტემპერატურაზე, ბევრ შემთხვევაში, კერძოდ, ალუმინის მიღების პროცესში ელექტროდი არა მარტო დენის მიყვანას ემსახურება, არამედ მონაწილეობს კიდევ იქ მიმდინარე ელექტროქიმიურ და ქიმიურ რეაქციებში.

კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილის ელექტროლიზით ალუმინის შენადნობების მიღებისას ანოდის დაჟანგვის შედეგად გამოყოფილი ენერგია მნიშვნელოვნად ამცირებს ძაბვას აბაზანაზე, ხოლო ალუმინის შენადნობების მიღების პროცესის დროს ელექტროთერმულ ღუმელებში ელექტროდი აღმდგენლის როლსაც ასრულებს.

განასხვავებენ დაწნეხილ, გამომწვარ და უწყვეტ თვითცხობად ელექტროდებს. პირველი ტიპის ელექტროდები მზადდება ნახშირის წვრილი მარცვლების კუპრთან არევით. მიღებულ პლასტიკურ მასას წნეხავენ ფორმებში, ხოლო შემდეგ აბდენენ მის ხანგრძლივ გამოწვას უპაეროდ მაღალ ტემპერატურაზე. დაწნეხილ გამოუწვავ ელექტროდებს „მწვანე ელექტროდები“ ეწოდება.

გამოწვისას შემკვრელი იკოქსება და ნახშირის ცალკეულ ნაწილაკებს კრავს ერთ მთლიან მასად.

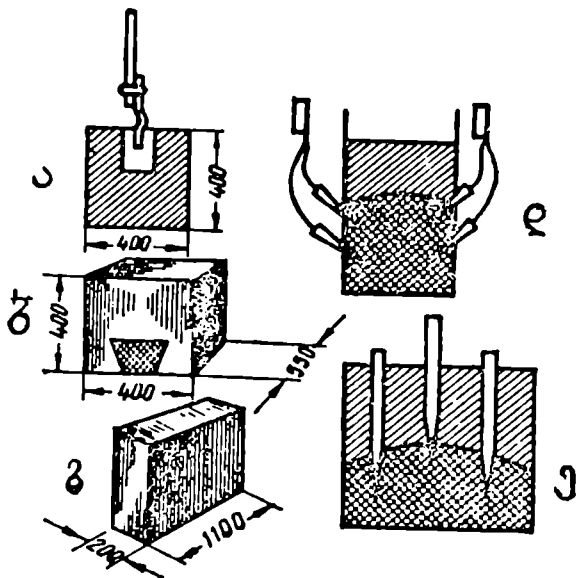
გრაფიტირებულ ელექტროდებს ლებულობენ ნახშირის ელექტროდების მაღალ ტემპერატურაზე დამუშავებით. სწორედ ასეთი ელექტროდებია გამოყენებული სუფრის მარილის ელექტროლიზისათვის ქლორისა და კაუსტიკური სოდის მიღებისას და ელექტროთერმულ ღუმელებში კაზმის სადნობად.

თვითცხობადი ელექტროდი პირველად გამოიყენა 1918 წელს ნორვეგიელმა ზოდერბერგმა. ასეთი ელექტროდი შედგება ლითონის გარსაცმისაგან, რომელიც ამოვსებულია ნახშირბადოვანი მასით. ეს უკანასკნელი მაღალ ტემპერატურაზე იკოქსება იმ სითბოს გავლენით, რომელიც გამოიყოფა ელექტროლუმელში ან ელექტროაბაზანაში დიდი ძალის დენის გავლის შედეგად. ასეთი ელექტროდი ხასიათდება „შეცხობის კონუსით“, რომლის ქვევით მასა დაკოქსილია, ელექტროდის მოწვისდა მიხედვით, მას ზევიდან ლითონის ახალ-ახალ გარსაცავს მიაღულებენ ხოლმე. რომელშიც პერიოდულად იტვირთება ახალი კერძები.

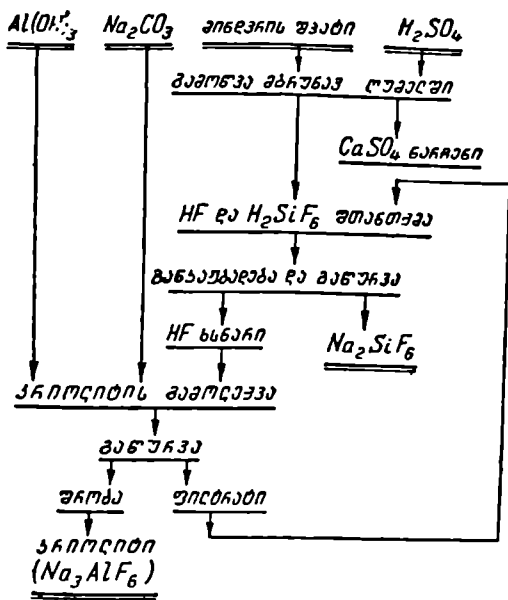
ელექტროდის მასა ქვევით დაწვევისას იკოქსება და იხარჯება. ასეთი ელექტროდი უზრუნველყოფს აგრეგატის უწყვეტ მუშაობას ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

ყოველი ტონა ალუმინის მისაღებად იხარჯება თითქმის 0,6 ტ საელექტროდო მასალები (ელექტროდული მასა, ნახშირის ბლოკები და გვერდითი ამოსაგები ფილები).

ნახაზზე მოცემულია ალუმინის წარმოებაში გამოყენებული ელექტროდების სახეობანი. კათოდური ბლოკები ანოდებსა და ანოდის მასასთან შედარებით ნაკლებად იხარჯება და ამიტომ მათ შედარებით დაბალხარისხოვანი ნედლეულისაგან ამზადებენ.



სურ. 27. ალუმინის წარმოებაში გამოყენებული ელექტროდული მასალები: ა) დაწნეხილი გამომწვარი ბლოკი (გამოიყენება თხევადი ალუმინის ფენამდე დენის მიყვანად); ბ) კათოდური ბლოკი (აბაზანის ფსკერის ამოსაგებად); გ) ნახშირის ფილები აბაზანის გვერდითი კედლების ამოსაგებად; დ) თვითცხოზადი ანოდი გვერდიდან დენის მიყვანით; ე) თვითცხოზადი ანოდი ზევიდან დენის მიყვანით



სურ. 28. კრიოლიტის მიღების ტექნოლოგიური სქემა

ამოსაგები ელექტროდული მასისა და ბლოკების დასამზადებლად იყენებენ შემდეგ ნედლეულს:

ანტრაციტი. იგი შეიცავს 92—96% ნახშირბადს. ხასიათდება მაღალი მექანიკური გამძლეობით, დიდი სიმკვრივეით (1,3—1,7), აქროლადი ნაერთების დაბალი შემცველობით (3—4%) და მაღალი თერმიული მდგრადობით; სისალეა 3; ნაცრიანობა — $3 \div 5\%$. გამოიყენება ბლოკებისა და ფილების დასამზადებლად. შახტურ ლუმებში 1100—1250°-ზე ანტრაციტის დამუშავებით მიღებულ თერმონანტრაციტში აქროლადი კომპონენტების შემცველობა კიდევ უფრო შემცირებულია.

სამსხმო კოქსი. იგი ხასიათდება ფორიანი სტრუქტურით. მიიღება ქვანახშირის 900—1000°-ზე დაკოქსევით, თუმცა მასში მცირეა აქროლადები (1,0—1,5%) და მას აქვს საკმაოდ მაღალი ელექტროგამტარობა. მაღალი ნაცრიანობის გამო (8—15%) სასხმო კოქსი ანოდების დასამზადებლად უვარგისია. გამოიყენება მხოლოდ კათოდური ბლოკებისა და გვერდითი ფილების კაზმისათვის.

ნავთობისა და ქვანახშირის კუპრის კოქსი, ძალზე მცირე (<0,5%)

ნაცრიანობის გამო, საუკეთესო მასალა ანოდის მასის დასამზადებლად. ნავთობის კოქსი მიიღება მყიდვეფორიანი მასის სახით ნავთობის კრეკინგისა და პიროლიზის დროს. ქვანახშირის ფისის გამოხდის შედეგად მიღებული ნარჩენის დაკოქსვის პროდუქტია ქვანახშირის კუპრის კოქსი.

ანოდური საელექტროდე მასისა და ამონაგი ბლოკების კაზმის შედგენისას მყარი ნახშირბადიანი მასალების (ანტრაციტის, კოქსის) გარდა გარკვეული შეფარდებით აიღება შემკვრელი მასალა — ქვანახშირის ფისი და კუპრი. კუპრი ნარჩენია, რომელიც მიიღება ქვანახშირის ფისის გამოხდის დროს. მისი გარბილების ტემპერატურაა 65—75°.

სხვადასხვა სიბლანტისა და გარბილების ტემპერატურის მქონე შემკვრელი მასალის (ე. წ. კუპრ-ფისის) მიღება შეიძლება კუპრისა და გამთბარი ქვანახშირის ფისის შერევით.

ნახშირის ელექტროდების წარმოების სქემა მოცემულია სურ. 28-ზე.

ალუმინის წარმოებაში გამოყენებული ანოდებისა და ანოდის მასის ნაცრიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,6%-ს; კათოდურ ბლოკებსა და გვერდით ფილებში ნაცრიანობა შეიძლება 8%-მდე გაიზარდოს. სტანდარტი ზღუდავს აგრეთვე Fe_2O_3 -სა და SiO_2 -ის შემცველობას, ფორიანობის სიდიდესა და მექანიკურ სიმტკიცეს.

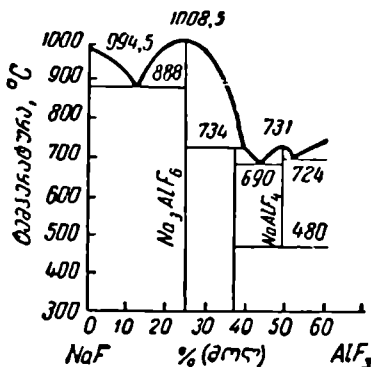
ალუმინის მიღების თეორიული საფუძვლები

ალუმინის თანამედროვე წესით მიღების ძირითადი ოპერაციაა კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილის ელექტროლიზი. პროცესის არსი მდგომარეობს კრიოლიტში გახსნილი თიხამიწის დაშლაში — კათოდზე ალუმინისა და ანოდზე CO და CO_2 -ის წარმოქმნით. ეს აირებია ანოდის ნახშირბადისა და თიხამიწაში შემავალი ენგბადის ხარჯზე მიიღება.

მრავალრიცხოვანი ცდები კრიოლიტის შეცვლისა სხვა ლობილით უშედეგო აღმოჩნდა. კრიოლიტის უპირატესობაა მასში თიხამიწის მაღალი ხსნადობა. იგი არ შეიცავს ალუმინზე უფრო ელექტროდადებით ლითონებს, რომლებიც კათოდზე გამოყოფისას გააქუჭყიანებენ მას. კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილი ხასიათდება საკმარისი ელექტროგამტარობით, თხევადდენადობით, ალუმინზე ნაკლები წონით და მცირე აქროლადობით; ყოველივე ეს იძლევა შესაძლებლობას — პროცესი ჩავატაროთ ელექტროლიტის მცირე დანაკარგებით და ელექტროლიტის ქვეშ განლაგებული თხევადი ალუმინის კათოდის გამოყენებით.

კრიოლიტ-თიხამიწის ელექტროლიტი მონახული იყო ძირითადად ემპირიული გზით, ამჟამად კი ეს სისტემა კარგადაა შესწავლილი. ამ

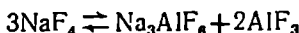
მზრივ ალსანიშნავია, რომ პ. ფედოტიევმა და ვ. ილინსკიმ ჯერ კიდევ 1910—1912 წლებში დეტალურად შეისწავლეს NaF—AlF₃-ის დიაგრამა (სურ. 29).



სურ. 29. NaF — AlF₃ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ნატრიუმისა და ალუმინის ფტორიდები, გარდა კრიოლიტისა (3NaF · AlF₃), ორ სხვა ქიმიურ ნაერთსაც წარმოქმნიან — ქიოლიტს (5NaF · 3AlF₃) და ნატრიუმის მეტაფტორალუმინატს (NaAlF₄). აღნიშნული სამი ნაერთიდან დიაგრამაზე მხოლოდ ქიოლიტს არ აქვს ქიმიური ნაერთისათვის დამახასიათებელი მაქსიმუმი, რადგან იგი ინკონგრუენტულია და გაღობისას 734°-ზე იშლება.

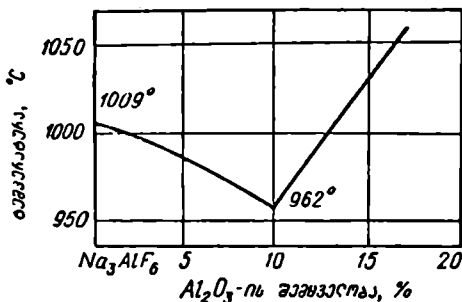
დიაგრამაზე გვაქვს სამი ევტექტიკური წერტილი: პირველი — ნატრიუმფტორისა და კრიოლიტს შორის (880°), მეორე — ქიოლიტსა და ნატრიუმის მეტაფტორალუმინატს შორის (690°), ხოლო მესამე წერტილი — 724°-ზე. კრიოლიტი (565°-ზე) და ნატრიუმის ფტორალუმინატი (480°-ზე) განიცდიან მოდიფიკაციურ გარდაქმნებს, რაც დიაგრამაზე სათანადო პორიზონტალური ხაზებითაა აღნიშნული. 480°-ზე მიმდინარეობს რეაქცია:



კრიოლიტის შედგენილობის შესაბამისი მკვეთრად გამოსახული მაქსიმუმი დიაგრამაზე მიგვითითებს, რომ კრიოლიტი მტკიცე ნაერთია

და სავსებით გამართლებულია მისთვის ფორმულა Na_3AlF_6 . გამართლდა აგრეთვე პ. ფედოტიევის აზრიც ამ ნაერთის დისოციაციის შესახებ Na^+ და AlF_3^- -იონების წარმოქმნით.

კრიოლიტ-თიხამიწის დიაგრამა (სურ. 30) პირველად დეტალურად შეისწავლეს პ. ფედოტიევი და ვ. ილინსკი. შემდეგ ეს დიაგრამა, ისევე, როგორც $\text{NaF}-\text{AlF}_3$ -ის დიაგრამა, მრავალი მეცნიერის კვლევის საგანს წარმოადგენდა. ლიტერატურაში გამოთქმულია აზრი, რომ მაღალი თიხამიწის შემცველობისას ელექტროლიტში არსებობს გამლღვალ მდგომარეობაში არამდგრადი ოქსიდტორიდი — NaAlO_2 .



სურ. 30. $\text{Na}_3\text{AlF}_6-\text{Al}_2\text{O}_3$ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

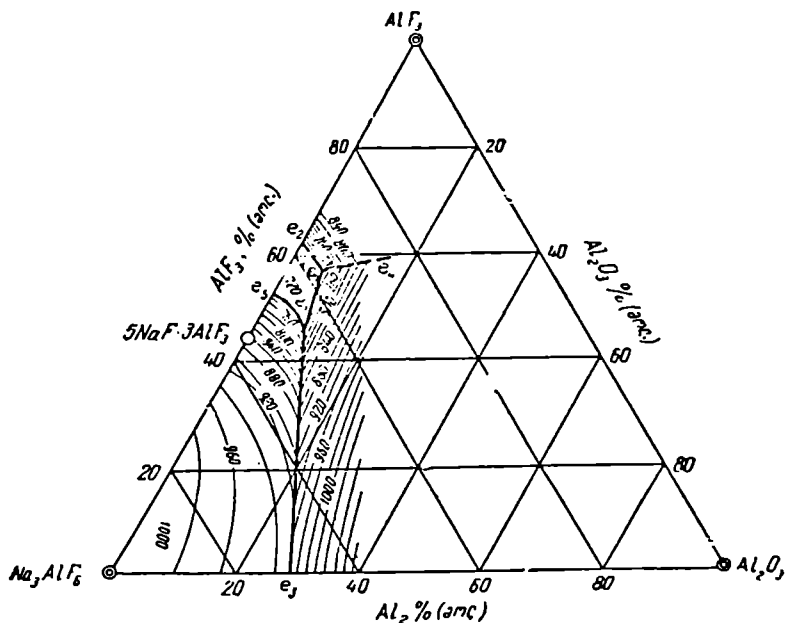
როგორც დიაგრამიდან ჩანს (სურ. 30), ევტექტიკური მინიმუმი (962°) შეესაბამება 10% Al_2O_3 -ს. თიხამიწის შემცველობის შემდეგი ზრდა იწვევს ლობის ტემპერატურის აწევას. საწარმოო აბაზანებში თიხამიწის კონცენტრაცია ელექტროლიტში ჩვეულებრივად 8%-ის ზევით არ აჭყავთ, ვინაიდან წინააღმდეგ შემთხვევაში შესაძლებელია თიხამიწის გამოკრისტალება და მისი უხსნადი ფენის გაჩენა აბაზანის ფსკერზე, რაც მეტად არასასურველია.

ალუმინის, კალციუმისა და მაგნიუმის ფტორიდების ჩამატება ელექტროლიტში საგრძნობლად ამცირებს თიხამიწის ხსნადობას. $\text{Na}_3\text{AlF}_6-\text{AlF}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ -ის სამმაგ დიაგრამაზე (სურ. 31) შეიძლება გამოვეყნოთ პირველადი კრისტალიზაციის ოთხი ზონა: 1. კრიოლიტის ($e_3e_1e_2$); 2. თიხამიწისა ($e_2e_1e_0e_4$); 3. ქიოლიტისა ($e_3e_1e_0e_2$) და 4. მეტაფტორალუმინატის ($e_2e_0e_1$).

სამშავი წერტილებია: გარდამავალი I_1 და ევტექტიკური — I_0 ; ეს წერტილები ასეთი შედგენილობისაა (მოლ. %):

	Na_3AlF_6	Al_2O_3	AlF_3	$t^\circ C$
I_1 —	45,0	7,9	47,1	710
I_0 —	37,2	5,0	57,8	678

დიდი მნიშვნელობა აქვს ელექტროლიტისა და მასში შემავალი ნაერთების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს: სიბლანტეს, კუთრ წონას, ზედაპირულ დაძაბულობას, ელექტროგამტარობას, სიმკვრივეს, ელექტროლიტში შემავალი მარილების აქროლადობას.



სურ. 31. Na_3AlF_6 — AlF_3 — Al_2O_3 სისტემის დიაგრამა (გ. აბრამოვისა და ა. კოსტიუკოვის მიხედვით)

ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე მყარი ალუმინი უფრო მსუბუქია, ვიდრე კრისტალური კრიოლიტი და მისი ნაერთები თიხამიწასთან. გამლვეალ მდგომარეობაში კი პირიქით ხდება — ალუმინი იძირება კრიოლიტ-თიხამიწის ლლობილში, რაც საშუალებას გვაძლევს საწარმოო აბაზანაში თხევადი ალუმინის კათოლი ვიქონიოთ კრიოლიტ-თი-

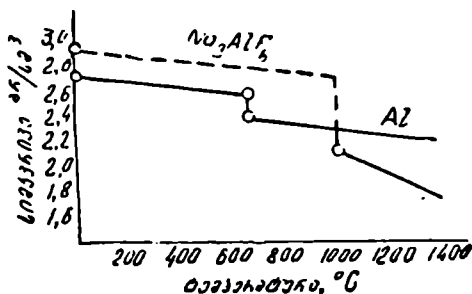
6. რ. აგლაძე, ა. ავალიანი

ხამიწის ფენის ქვეშ. კრიოლიტის ხვ. წონა სხვადასხვა ტემპერატურაზე შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით:

$$d_i = 2,088 - 0,00088(t - 1000)$$

როგორც ნატრიუმის, ისე ალუმინის ფტორიდების დამატება კრიოლიტში იწვევს ნარევის სიმკვრივის შემცირებას. კალციუმფტორის დამატება ერთგვარად ზრდის კრიოლიტის ხვედრით წონას, მაგრამ არა იმდენად, რომ მან გამოიწვიოს ალუმინის ამოტივტივება ელექტროლიტის ზედაპირზე. ალუმინის კუთრი წონის დამოკიდებულებას ტემპერატურისაგან ასეთი სახე აქვს:

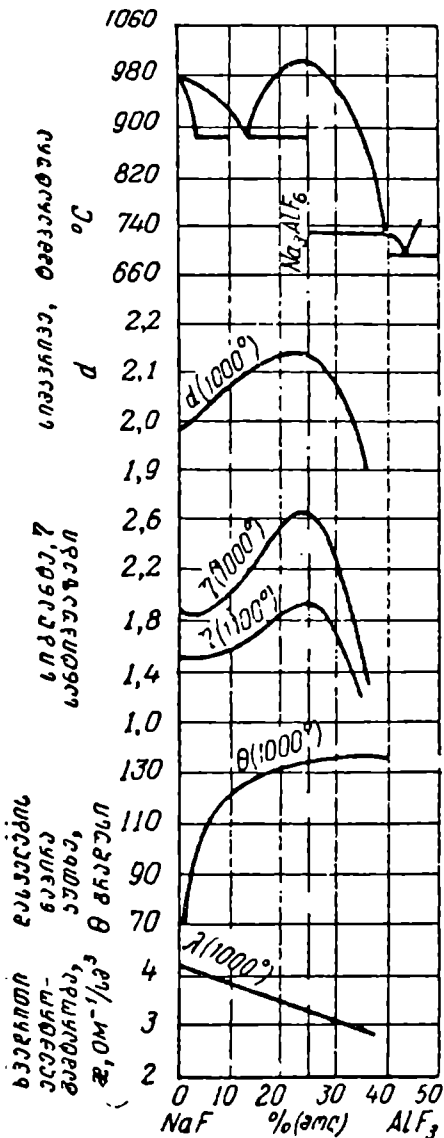
$$d_i = 2,382 - 0,000273(t - 65).$$



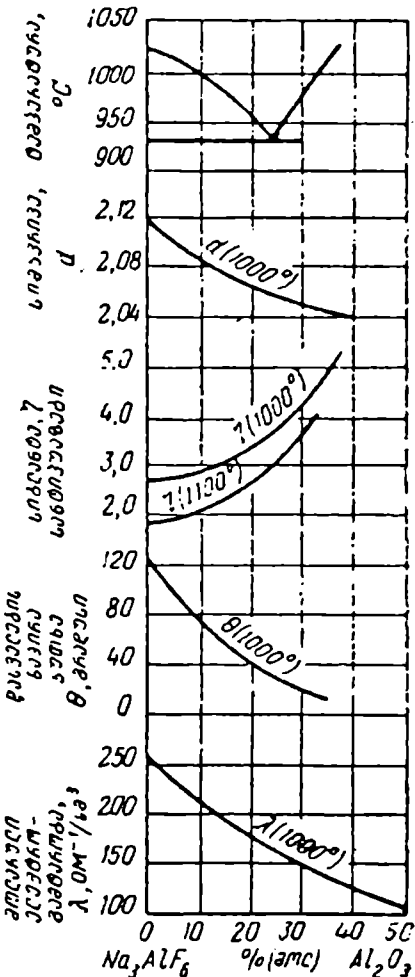
სურ. 32. ალუმინისა და კრიოლიტის კუთრი წონების ცვლა ტემპერატურის მიხედვით

სურ. 32-ზე მოცემულია ალუმინისა და კრიოლიტის კუთრი წონების ცვლილება ტემპერატურის მიხედვით. მოყვანილი სისტემების ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები იცვლება მათი მდგომარეობის დიაგრამის შესაბამისად (სურ. 33, 34).

კრიოლიტ-თიხამიწის ელექტროლიტს ზოგჯერ კალციუმისა და მაგნიუმის ფტორიდებს ამატებენ 3—6%-ის ოდენობით. ეს ზრდის ელექტროლიტის სიბლანტეს; თუ სუფთა ელექტროლიტის სიბლანტე 2,8 სპ შეადგენს, 10% CaF₂-ის დამატებისას ეს სიდიდე 3,0-მდე იზრდება. ელექტროლიტის სიბლანტე ძირითადად დამოკიდებულია ელექტროლიტში თიხამიწის შემცველობაზე. 1000°-ზე 10% Al₂O₃-ის შემცველი ელექტროლიტის სიბლანტე 23%-ით მეტია, ვიდრე სუფთა კრიოლიტისა (სურ. 34). საწარმოო ელექტროლიტის სიბლანტე 3,25—3,40 სანტიპუასს შეადგენს, კრიოლიტური ფარდობა კი 2,7—2,25-ის ფარგლებშია.



სურ. 33. NaF—AlF₃ სისტემის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები



სურ. 34. Na₃AlF₆—Al₂O₃ სისტემის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები

NaF—AlF₃-ის ლობილის ნახშირთან საზღვარზე დასველების ნაპირა კუთხის შესწავლამ გვიჩვენა, რომ NaF-ის ჩამატება კრიოლიტში იწვევს ამ კუთხის შემცირებას, ე. ი. აუმჯობესებს შესველებას, ხოლო AlF₃-ის ჩამატება აუარესებს. ა. ბელიაევმა დაადგინა, რომ თიხამიწის ჩამატება კრიოლიტში იწვევს ელექტროლიტით ელექტროდის შესველების უნარის გაზრდას. ელექტროლიზის დროს (988°) ალუმინის ზედაპირული დაქიმულობა სამჯერ მეტია, ვიდრე ელექტროლიტისა. აღსანიშნავია, რომ ელექტროლიტი, ასველებს რა ამონაგს, აღწევს თხევადი ალუმინის ფენის ქვეშ განლაგებულ ნახშირის ბლოკებამდე. დემონტირებული აბაზანების ნახშირის ბლოკების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ ისინი საკმაოდ არიან გაქლენილი ნატრიუმფტორით.

დასველების ნაპირა კუთხის დადგენა ხდება ეკრანზე წვეთის ჩრდილის პროექტირებით. გამლვალ მარილის წვეთის ფორმა დამოკიდებულია ამ მარილის შესველების უნარზე, რაც რაოდენობრივად გამოისახება დასველების ნაპირა კუთხის გაზომვით (სურ. 4).

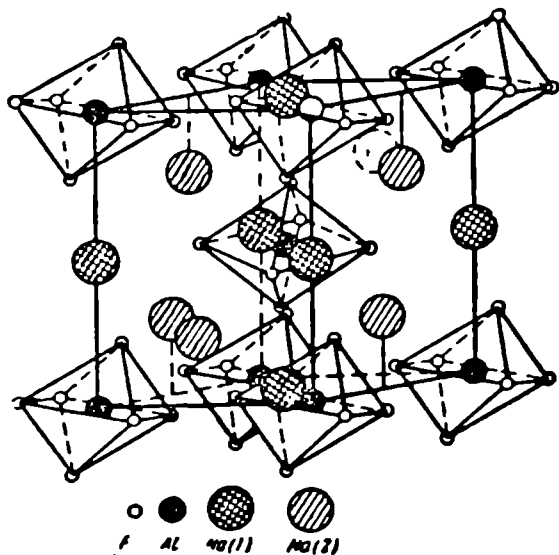
ელექტროლიტში შემავალი კომპონენტებიდან ყველაზე აქროლადია NaAlF₂. პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ კრიოლიტის ფარდობის ზევით AlF₃-ის შემცველობის ზრდა მკვეთრად აღიღებს ფტორმარილების ორთქლის დრეკადობას და მათ დანაკარგებს.

ელექტროლიტის ელექტროგამტარობა მცირდება მასში AlF₃-ის შემცველობის გაზრდით, ამიტომ გადამეტებული „გამჟავება“ ელექტროლიტისა (კრიოლიტური ფარდობის შემცირება) არაა სასურველი. ცდებით დადგინდა, რომ კრიოლიტ-თიხამიწის სისტემის ელექტროლიტების ელექტროგამტარობა თიხამიწის კონცენტრაციის გაზრდით სწორხაზობრივად მცირდება. ექსტრაპოლაცია Al₂O₃-ის 100%-იან მნიშვნელობამდე იძლევა ელექტროგამტარობისათვის ნულოვან სიდიდეს. აქედან ზოგიერთმა მკვლევარმა გააკეთა დასკვნა, თითქოს თიხამიწა კრიოლიტისათვის ისეთივე არაგამტარი გამხსნელია, როგორც წყალი მარილებისათვის.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მყარი კრიოლიტის ელექტროგამტარობა ერთი-ორი რიგით, ე. ი. 10 და 1000-ჯერ სჭარბობს მყარი ნატრიუმფტორის ელექტროგამტარობას, გაღობის შემდეგ კი ამ უკანასკნელის ელექტროგამტარობა 100-ჯერ იზრდება, კრიოლიტისა კი მხოლოდ 10-ჯერ.

კრიოლიტის სტრუქტურაში ალუმინისა და ფტორის იონები უფრო მოკლე კავშირებით არიან დაკავშირებული (1,8 Å.), ვიდრე ნატრიუმისა და ფტორის იონები (2,4 Å.). გაღობისას პირველ რიგში იშლება უფრო გრძელი კავშირები და ამიტომ კრიოლიტი დისოცირებს Na⁺ და F⁻ იონებად.

სურ. 35-ზე მოცემულია კრიოლიტის აგებულება. თანამედროვე წარმოდგენით კრიოლიტ-თიხამიწის ლლობილი ეროგვაროვანი სისტემაა, რომელიც შედგება Na^+ , Al^+ , F^- და O^{2-} იონებისაგან. რადგან



სურ. 35. კრიოლიტის კრისტალური გისოსის აგებულება

აქ მონაწილეობენ მრავალმუხტიანი და მცირე რადიუსის მქონე იონები, დასაშვებია მათი ურთიერთქმედება კომპლექსური იონების წარმოქმნით. ამრიგად, ელექტროლიტში შეიძლება იყოს კათიონები:

Al^{3+} , Al^+ , Na^+ Na_2^+ და ანიონები F^- , AlF_6^{3-} , AlF_4^- , O_2^{2-} , AlO_2^- , AlO_3^{2-} , AlOF_6^{3-} , AlOF_5^{2-} , AlOF_4^- და სხვა.

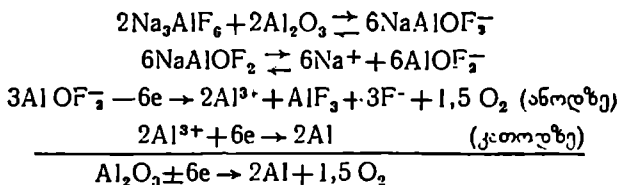
რაც უფრო მაღალია თიხამიწის კონცენტრაცია ელექტროლიტში, მით უფრო მეტი რაოდენობით წარმოიქმნება კომპლექსური ჟანგბად-შემცველი იონები. ზოგი მკვლევარი, კერძოდ, ვ. პაზუხინი, შესაძლებლად თვლის ლლობილში AlOF_5^{2-} -ის არსებობას. შესაძლებელია ოქსიდტორიდების (მაგ., AlOF_2^-) არსებობაც.

ელექტროლიზის დროს კრიოლიტ-თიხამიწის ლლობილში მიმდინარე პროცესების არსი პირველად პ. ფედოტიევმა ჩამოაყალიბა. ამჟა-

მად საბჭოთა მკვლევართა (ვ. მაშოცევი, ს. რემპელი, ლ. ანტიპინი და სხვ.) სამუშაოების შედეგად პ. ფედოტიევის მიერ მოცემული პირველადი სქემა დაზუსტდა და დღეისათვის, გამლღვალ მარილთა სტრუქტურის შესახებ მიღებული თანამედროვე მონაცემების გათვალისწინებით, იგი შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვიდგინოთ:

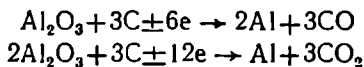
კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილი შეიცავს Na^+ და ოქსიფტორიდის იონებს (მაგ., AlOF_2^-). ეს იონები ანოდზე განიმუხტებიან ჟანგბადის წარმოქმნით. საბოლოო ჯამში, თუმცა შუალედი რეაქციების რიცხვი საკმაოდ დიდია, ხდება თიხამიწის დაშლა ალუმინისა და ჟანგბადის გამოყოფით.

აბაზანაში მიმდინარე პროცესები კრიოლიტ-თიხამიწის ელექტროლიზის დროს ხასიათდება შემდეგი განტოლებებით:



ჩერ კიდევ პ. ფედოტიევმა მიაქცია ყურადღება, რომ კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილის ელექტროლიზის დროს ელექტროლიტის მორევა ხელს უწყობს თიხამიწის წარმოქმნას. სწორედ ამ მოკლენით ახსნა მან ელექტროლიტის მორევიტ ანოდური ეფექტის ჩაქრობის ცნობილი ფაქტი.

რადგან ნახშირის ანოდები რეაქციაში მონაწილეობენ, ამიტომ პროცესის საბოლოო შედეგია არა ალუმინისა და ჟანგბადის, არამედ ალუმინის, ნახშირჟანგისა და ორჟანგის ნარევის წარმოქმნა:



ნაკლებად მოძრავი AlOF_2^- -ის იონების მონაწილეობა დენის გადანაწილში უმნიშვნელოა. დენი ძირითადად Na^+ იონებს გადააქვთ და ანოდზე ხდება ოქსიფტორიდის დაშლა. ეს იწვევს ანოდიტის გამდიდრებას ფტორის იონებით (ალუმინფტორით). ელექტროლიტის მორევისას ალუმინფტორის, ნატრიუმფტორისა და ნატრიუმის ოქსიფტორიდის ურთიერთმოქმედების შედეგად წარმოიშობა კრიოლიტი და თიხამიწა, რომელიც აქრობს ანოდის ეფექტს.

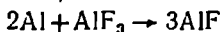
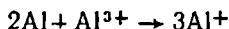
CO და CO_2 -ის შემცველობა ანოდის აირებში დამოკიდებულია დე-

ნით გამოსავალზე, ტემპერატურაზე, პოლუსებს შორის მანძილზე, ანოდური დენის სიმკვრივესა და ანოდის კონსტრუქციაზე.

გამომწვარი ანოდების შემთხვევაში CO₂-ის კონცენტრაცია საკმაოდ მაღალია — 65—95%, თვითცხოზადი ანოდით და დენის ზევიდან მიყვანის დროს — 40—55%, ხოლო დენის გვერდიდან მიყვანის შემთხვევაში კი 50 — 80%.

დენითა და ენერგიით გამოსავალი

ელექტროლიზის დროს დენით გამოსავალი არასოდეს არ აღწევს 100%-ს. ამის მიზეზი პირველ რიგში არის ალუმინის ხსნადობა ელექტროლიტში ალუმინისა და ნატრიუმის დაბალვალენტური ნაერთების (სუბნაერთების) წარმოქმნით.

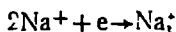


სუბნაერთები, აღწევენ რა ანოდს, იჟანგებიან და იწვევენ დენით გამოსავლის შემცირებას.

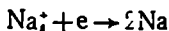
სათანადო გაანგარიშებით ნავარაუდევია, რომ 1300°-ზე ერთვალენტური ალუმინის კონცენტრაციამ შეიძლება 0,48%-ს მიაღწიოს. ალუმინის გამოლექვა შესაძლებელია შემდეგი რეაქციის შედეგად:



გამორიცხული არაა ნატრიუმის დაბალვალენტური ნაერთების წარმოქმნაც:



ნატრიუმის ასეთი იონის განმუხტვით შეიძლება მივიღოთ ნატრიუმი:



ნატრიუმის წარმოქმნა შეიძლება Na₂F-დანაც:



დენის დანაკარგები მისი აბაზანის გვერდით ამონაგში გასვლით და აგრეთვე ჩამოსხმისას (ლითონის მექანიკური დანაკარგების ხარჯზე) უმნიშვნელოა. ასე რომ, დენით გამოსავლის შემცირება ძირითადად სუბნაერთების წარმოქმნით და შემდგომ მათი ანოდზე დაჟანგვით მიმდინარეობს.

ალუმინის ელექტროლიზის შემთხვევაში დენით გამოსავალი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\eta = \frac{q_1}{q_2} \cdot 100 = \frac{q_1 \cdot 100}{0,355 \cdot Y \cdot \tau}$$

სადაც q_1 არის ფაქტიურად გამოყოფილი ალუმინის რაოდენობა;

q_2 — ფარადეის კანონის შესაბამისად გამოყოფილი ალუმინის რაოდენობა.

τ — ელექტროლიზის ხანგრძლივობა.

წარმოებაში დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ ენერგიით გამოსავალს, რომელიც მისი სასარგებლო გამოყენებისა და პროდუქტზე ენერგიის ხვედრითი ხარჯის მაჩვენებელია;

$$\eta_{\text{ენ}} = \eta_{\text{ენ}} \frac{E_{\text{თეორ}}}{E_{\text{ჩაჯ}}}$$

$E_{\text{თეორ}}$ არის Al_2O_3 -ის დაშლის პოტენციული ნახშირის ანოდების გამოყენებისას (ანოდზე პოლარიზაციის ჩათვლით) და ტოლია 1,6 ვოლტისა, $E_{\text{ჩაჯ}}$ — ძაბვის სიდიდე მომუშავე აბაზანაზე.

ამრიგად თუ მივიღებთ, რომ საშუალო დენით გამოსავალია 87% (საწარმოო პირობებში იგი 85-დან 90%-მდე მერყეობს), ხოლო საშუალო ძაბვა აბაზანაზე — 4,7 ვ (პრაქტიკულად იგი 4,5 ÷ 5,0 ვ ფარგლებშია), მაშინ ენერგიის გამოსავალი შეადგენს:

$$\eta_{\text{ენ}} = 87 \frac{1,6}{4,7} = 30\%$$

წარმოებაში ელექტროლიზის საამქროს მუშაობის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელია ენერგიის ხარჯი ლითონის წონის ერთეულზე, რომელსაც ანგარიშობენ ფორმულით

$$W = \frac{I \cdot V_{\text{საშ}} \tau \cdot 10^3}{It \cdot 0,355 \cdot \eta_{\text{ენ}} \cdot 10^{-6}} \text{ კვტ-ს/ტ}$$

აქ I დენის ძალაა,

$V_{\text{საშ}}$ — ძაბვა აბაზანაზე,

τ — დრო,

$\eta_{\text{ენ}}$ — დენით გამოსავალი (ნაწილი ერთეულისა),

0,355 — ალუმინის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, გ/ა-სთ.

ზოგ ქარხანაში ხმარებაშია შებრუნებული სიდიდე $\frac{1}{W}$. მას პირობითად ეწერაგით გამოსავალს უწოდებენ:

$$\frac{1}{W} = \frac{0,355 \cdot \eta_{\text{ფან}} \cdot 10^3}{V_{\text{საზ}}} \text{ გ/კვტ-ს}$$

იგი გვიჩვენებს, თუ ალუმინის რა რაოდენობა მიიღება დახარჯულ 1 კვტ-საათზე. უკანასკნელი განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ ეწერაგია გამოიყენება მით უფრო ეფექტურად, რაც მეტია დენით გამოსავალი და ნაკლებია ძაბვა აბაზანაზე. თანამედროვე ქარხნებში 1 კვტ-ზე ღებულობენ 60—65 გ ალუმინს.

დენით გამოსავალი

$$\tau_{\text{ფან}} = 1 - \frac{\Delta C}{q \cdot I_{\text{სა}}}$$

q — ალუმინის ელექტროქიმიური ეკვივალენცია (0,335 გ/ა-ს),

$I_{\text{სა}}$ — კათოდური დენის სიმკვრივე,

ΔC — ლითონის დანაკარგები დაბალვალენტიანი იონების (Al^{+} და Na^{+}) ანოდზე დაჟანგვის შედეგად.

დენით გამოსავალი, დენის სიმკვრივე და ელექტროდებს შორის მანძილი გარკვეულ დამოკიდებულებაშია გ. აბრამოვის ემპირიულ დანტოლებით:

$$\eta_{\text{ფან}} = \frac{e}{K \cdot I_{\text{სა}}}$$

K — მუდმივაა, დამოკიდებული ტემპერატურაზე, ელექტროლიტის შედგენილობასა და აბაზანის კონსტრუქციაზე,

l — ელექტროდებს შორის მანძილია,

$I_{\text{სა}}$ — დენის საშუალო სიმკვრივე, გამოითვლება საშუალო კვეთისათვის ($S_{\text{საზ}}$):

$$S_{\text{საზ}} = \sqrt{S_{\text{კათ}} \cdot S_{\text{ან}}}$$

$S_{\text{კათ}}$ და $S_{\text{ან}}$ — თხევადი ალუმინისა და ანოდის კვეთის ზედაპირები (საწარმოო აბაზანებში $S_{\text{კათ}} > S_{\text{ან}}$).

ელექტროლიტის კონცონენცბების დაულის ძაბვა

გამლდვალი ელექტროლიტებით შედგენილი გალვანური ქაქვების ელექტრომამოძრავებელი ძალების შესწავლით ღებულობენ თერმო-

დინამიკურ მონაცემებს წონასწორული რეაქციისათვის. მეორე შემთხვევაში ასეთ მონაცემებს ლებულობენ დენქვეშ მყოფი პოლარიზებული ელექტროდებისათვის, რაც იძლევა პროცესის კინეტიკის, ორმაგი შრის სტრუქტურის, პოლარიზაციის, დეპოლარიზაციისა და სხვა მოვლენების შესწავლის შესაძლებლობას.

ის მინიმალური ძაბვა, რომელიც აუცილებელია მივიყვანოთ ელექტროდებზე პროდუქტის გამოყოფით ხანგრძლივი ელექტროლიზის ჩასატარებლად, არის დაშლის პოტენციალი.

თუ ელექტროლიზი მიმდინარეობს გადაძაბვისა და დეპოლარიზაციის გარეშე, მაშინ, დაშლის პოტენციალი ელექტროდთა პოტენციალების სხვაობას უტოლდება

$$E_{\text{დაშლის}} = E_{\text{წინასწ}}^K - E_{\text{წინასწ}}^0.$$

ამ შემთხვევაში დაშლის ძაბვა უდრის ელექტროდებისა და ელექტროლიტისაგან შემდგარი გალვანური ელემენტის ემძ. იგი შეიძლება გამოვთვალოთ სათანადო რეაქციის იზობარული პოტენციალისაგან (თავისუფალი ენერჯიის მნიშვნელობიდან):

$$E^0 = \frac{\Delta Z T}{n F}.$$

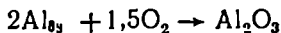
ელექტროლიზის დროს ელექტროდებზე წარმოშობილი არაწონასწორული ელექტროდების პოტენციალთა სხვაობა არის პოლარიზაციის ემძ. სხვადასხვა დენის სიმკვრივეზე პოლარიზაციის მნიშვნელობა სხვადასხვაა:

$$E_{\text{აოღ}} = \psi^+ - \psi^-$$

ცალკეული ელექტროდების პოტენციალების გასაზომად საზღვრავენ გამოსაკვლევი და შესადარებელი ელექტროდებისაგან შემდგარი ჯაჭვის ემძ.

უკუ-ემძ ეწოდება პოტენციალს, რომელიც წარმოიქმნება აბაზანის ელექტროდებს შორის დენის ამორთვისას. უკუდენის მიმართულება საწინააღმდეგოა ელექტროლიზის დენის მიმართულებისა.

რეაქციისათვის



$$\Delta Z^0 = -0,239nEF,$$

საიდანაც

$$E = \frac{-\Delta Z^0}{0,239 \cdot n \cdot F};$$

აქედან E — სათანადო გალვანური ელემენტის ელექტრომომოქრავებელი ძალაა, n — ვალენტობის მაჩვენებელი Al_2O_3 -თვის, რაც ტოლია $2 \cdot 3 = 6$.

$$E = \frac{288216}{6 \cdot 23066} = 2,83.$$

აქედან განხილული რეაქციისათვის 950° -ზე

$$\Delta H^\circ = -392640 \text{ კალ/გ. მოლზე.}$$

$$T \cdot \Delta S = -104324 \text{ კალ/გ. მოლზე.}$$

ΔZ — იზობარული პოტენციალის (თავისუფალი ენერჯიის) მნიშვნელობა გამოითვლება განტოლებიდან

$$\Delta Z^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S.$$

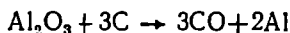
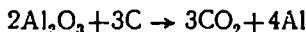
აქ ΔH° რეაქციის თბური ეფექტია. მუდმივი წნევის დროს განტოლების მარჯვენა ნაწილის ენტროპიები აიღება +, მარცხენასი — ნიშნით. T — აბსოლუტური ტემპერატურა ($273^\circ + t$); ΔZ რეაქციის მონაწილე ნივთიერებათა ენტროპიების ალგებრული ჯამია:

$$E_{NaF} = \frac{136000}{0,239 \cdot 96494} = \frac{136000}{23066} = 5,93,$$

$$E_{AlF_3} = \frac{331500}{0,239 \cdot 3 \cdot 96494} = 4,79.$$

ამრიგად, ელექტროლიზის სამი კომპონენტიდან ყველაზე დაბალი დაშლის ძაბვა აქვს Al_2O_3 -ს, ყველაზე მაღალი — AlF_3 -ს.

თუ Al_2O_3 -ის დაშლის რეაქცია სითბოს შთანთქმით მიმდინარეობს (ენდოთერმულია), ელემენტებიდან CO და CO_2 წარმოქმნის რეაქციები ეგზოთერმულია, ასე რომ პოტენციალი საჭირო რეაქციისათვის —



უფრო დაბალია, ვიდრე ქანგბადის გამოყოფით თიხამიწის დაშლის პოტენციალი. 1000° -ზე ეს დებოლარიზაცია სათანადოდ შეადგენს $0,948$ ვ-ს ნახშირქანგისა და $1,048$ ვ ნახშირორქანგის შემთხვევაში.

ამრიგად, ელექტროლიზის რეაქციის პოტენციალი უნდა იყოს:

$$2,08 - 0,948 = 1,132 \text{ ვ (CO-ს შემთხვევაში)}$$

$$2,08 - 1,048 = 1,032 \text{ ვ (CO}_2\text{-ს შემთხვევაში)}$$

აქ 2,08—დაშლის პოტენციალის მნიშვნელობაა Al_2O_3 -თვის უანგბადისა და Al-ის გამოყოფით.

ექსპერიმენტული მონაცემებით, დაშლის პოტენციალი თიხამიწის ელექტროლიზისათვის CO და CO_2 -ის გამოყოფით შეადგენს 1,45—1,83 ვ-ს, ე. ი. ბევრად მეტია თერმოდინამიკური გათვლით მიღებულ სიდიდეზე. ეს იმით აიხსნება, რომ, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, უანგბადის განმუხტვის პროცესი მიდის გადაძაბვით, რაც დაკავშირებულია მისი ქემსორბციის პროცესთან (C_xO ნაერთების წარმოქმნით). უანგბადის პირდაპირი განმუხტვა მხოლოდ ძალზე დაბალი დენის სიმკვრივისას ხდება და ისიც პლათინის ელექტროდებზე. საწარმოო აბაზანებში ნახშირის დაუანგვა (წვა) დაკავშირებულია აბსორბციულ მოვლენასთან.

Al_2O_3 -ის დაშლის ძაბვის ექსპერიმენტული მონაცემები მოტანილია ცხრ. 11.

ცხრილი 11

დაშლის პოტენციალის მნიშვნელობა ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით.

განსაზღვრის მეთოდი	Al_2O_3 -ის კონცენტრაცია	ტემპერატურა	დაშლის პოტენციალი, ვ
პლათინის ანოდებზე უკუმამოძრავებელი ძალის გაზომვა კომუტაციური მეთოდით	10	1000	2,10
I—V მრუდებით	—	1000	2,08
ემპ გალვანური ჯაჭვის	ნაჭერი	1010—1060	2,12
I—V მრუდებით	10	980	2,14
ნახშირბადის ანოდებზე უკუმამოძრავებული გაზომვა კომუტაციური მეთოდით	10	1000	0,98
I—V მრუდებით	ნაჭერი	1000	1,2—1,3
ემპ გალვანური ჯაჭვისა	ნაჭერი	1010—1060	1,115
I—V მრუდებით	10	980	1,5
ნახევრად საწარმოო აბაზანებზე	—	950	1,45
საწარმოო აბაზანებზე	3	950	1,63

ანოდური ეფექტის მნიშვნელობა ალუმინის მიღებისას ძალზე დიდია, ეს მოვლენა მდგომარეობს კრიოლიტ-თიხამიწის

ლლობილის ელექტროლიზის დროს ნახშირის ანოდზე ნაპერწყლოვანი განმუხტვის პერიოდულად წარმოქმნაში. ქარხნული ტერმინოლოგიით ამ მოვლენას „ფეთქვას“ უწოდებენ. ანოდური ეფექტის საკონტროლო ნათურა აბაზანაზე ამ დროს იწყებს ნათებას. მოვლენა ხასიათდება შემდეგი გარეგნული ნიშნებით: ძაბვა, რომელიც ნორმალურად მომუშავე აბაზანაზე 4,5—5,0 ვ-ის ფარგლებშია, ერთბაშად 30—40 ვ-მდე აღწევს. ამასთან ელექტროლიტსა და ელექტროდს შორის შეიმჩნევა ნათება — ნაპერწყლური განმუხტვა. აირებით გარშემორტყმული ელექტროდი სცილდება ელექტროლიტს, რომელიც მას აღარ ასველებს. ელექტროლიტის წყნარი დუღილი ანოდის გარშემო წყდება და შეიმჩნევა მისი ინტენსიური აორთქლება და აირების ქარბად გამოყოფა.

ანოდის ეფექტი დაკავშირებულია ელექტროლიტის თიხამიწით გაღარიბებასთან; მისი ახალი ულუფის ჩამატება იწვევს ანოდის ეფექტის შეწყვეტას. თიხამიწის კონცენტრაციის შემცირებისას ანოდის ეფექტის მოვლენა მეორდება. ანოდის ეფექტის დროს იზრდება ელექტროენერგიისა და მასალების ხვედრითი ხარჯი. მაგრამ ანოდის ეფექტს დადებითი მხარეც აქვს: იგი გვაძლევს შესაძლებლობას შევამოწმოთ აბაზანის ნორმალური მუშაობა. კარგი ანოდური ეფექტი, მკაფიო ნათება ნათურისა — აბაზანის ნორმალური მუშაობის მაჩვენებელია.

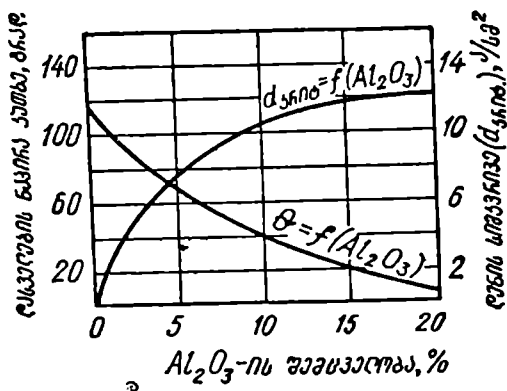
რადგან ანოდური ეფექტის ხშირი წარმოქმნის შემთხვევაში იზრდება ელექტროენერგიის ხარჯი და ხდება ფტორმარილების ინტენსიური აორთქლება, ამიტომ ცდილობენ საწარმოო აბაზანებზე ანოდის ეფექტების რიცხვისა და ხანგრძლივობის შემცირებას. გამოცდილი მებაზანაზე აბაზანის ნორმალური მუშაობის შესამოწმებლად რამდენიმე დღეში ერთი ანოდური ეფექტით კმაყოფილდება.

ანოდის ეფექტი მაშინ წარმოიქმნება, როცა დენის სიმკვრივე ანოდზე აღწევს კრიზისულ მნიშვნელობას. კრიზისული მნიშვნელობა ($D_{კრ}$) დამოკიდებულია გამლვალ მარილების ბუნებაზე, ტემპერატურაზე, ელექტროლიტში გახსნილი ენაგეულების რაოდენობაზე; ანოდის მასალასა და სხვა ფაქტორებზე. ფტორიდებისათვის $D_{კრ}$ ნაკლებია ქლორიდებთან შედარებით. ტემპერატურის ამაღლება ზრდის $D_{კრ}$ მნიშვნელობას.

დიაგრამაზე (სურ. 36) მოცემულია ა. ბელიაევისა და ს. კარპაჩოვის მონაცემების საფუძველზე აგებული კრიზისული დენის სიმკვრივის დამოკიდებულების მრუდი ელექტროლიტში თიხამიწის კონცენტრაციაზე.

მრუდის მიხედვით საწარმოო აბაზანებში, სადაც დენის სიმკვრივე საკმაოდ მუდმივია და 0,7—1,0 ა/სმ²-ის ფარგლებში მერყეობს, ანო-

დურ ეფექტს ადგილი ექნება უკვე მაშინ, როცა თიხამიწის კონცენტრაცია 0,5%-მდე დაეცემა.



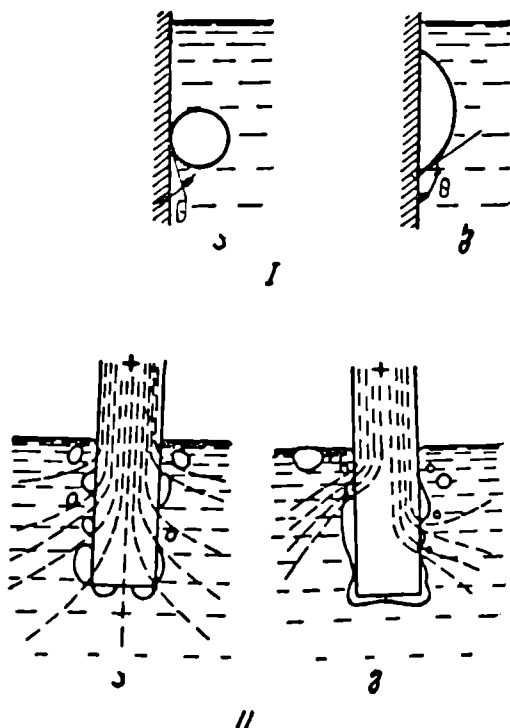
სურ. 36. კრიტიკული ღენის სიმკვრივისა და დასველების ნაპირა კუთხის სიდიდის დამოკიდებულება ელექტროლიტში თიხამიწის კონცენტრაციისაგან

ანოდური ეფექტის დამოკიდებულება ელექტროლიტის მიერ ელექტროდის დასველების უნარისაგან მეტად დიდია. რაც უფრო მეტია ელექტროლიტის დასველების ნაპირა კუთხე, მით ნაკლებია $D_{კ}$ -ის მნიშვნელობა. დასველების კუთხეზე დამოკიდებულია ელექტროლიტში წარმოშობილი აირის ბუშტულების სიდიდე და მათი ანოდისაგან მოწყვეტის უნარი. ელექტროლიტის ზედაპირული დაძაბულობა ანოდის საზღვართან (რაც დასველების კუთხის სიდიდით ხასიათდება) უკუპროპორციულია თიხამიწის კონცენტრაციისა ელექტროლიტში. თიხამიწის მცირე შემცველობისას ელექტროლიტის დასველება შესუსტებულია, გამოყოფილი აირის ბუშტულაკების ზომები იზრდება და მათი მოცილება გაძნელებულია (სურ. 37).

სურ. 38-ზე ნაჩვენებია, თუ როგორ იცვლება ძაბვა საწარმოო აბაზანაზე ორ ანოდურ ეფექტს შორის დროის მონაკვეთში.

მრავალრიცხოვანმა ცდებმა — შეეცვალათ ალუმინის მისაღებ აბაზანაში კრიოლიტ-თიხამიწის ლობილი სხვა ელექტროლიტით, შედეგი არ გამოიღო. კრიოლიტის უპირატესობა იმაშია, რომ მას ახასიათებს თიხამიწის კარგი ხსნადობა, იგი არ შეიცავს ალუმინზე უფრო დადებითი პოტენციალის მქონე ელემენტებს, რომლებსაც შეუძლიათ კა-

თოდზე განიმუხტონ და გააკუქუციანონ ლითონი. კრიოლიტ-თიხამიწის
 ლღობილი ელექტროლიზის ტემპერატურაზე (950°) ხასიათდება მა-

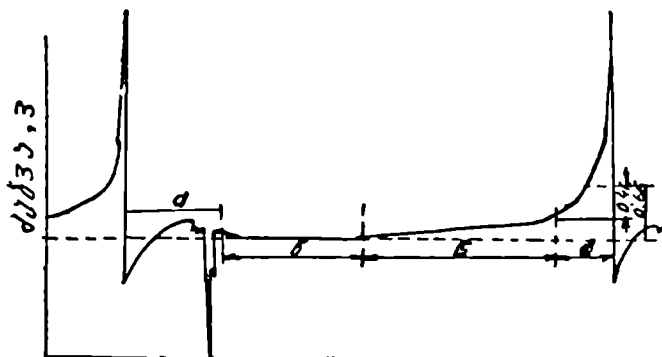


სურ. 37. ანოდის დასველების ნაპირა კუთხე (I) და ღენის
 განაწილება მასში (II): ა) ელექტროლიტში თიხამიწის ჩამა-
 ტებისას, ბ) თიხამიწის ჩამატების გარეშე

ღალი ელექტროგამტარობით, კარგი თხევადდენადობით და ალუმინ-
 თან შედარებით ნაკლები სიმკვრივით, რაც გვაძლევს შესაძლებლობას
 ჩავატაროთ ელექტროლიზი ალუმინის თხევადი კათოდით, რომელიც
 ელექტროლიტის ქვეშაა მოქცეული.

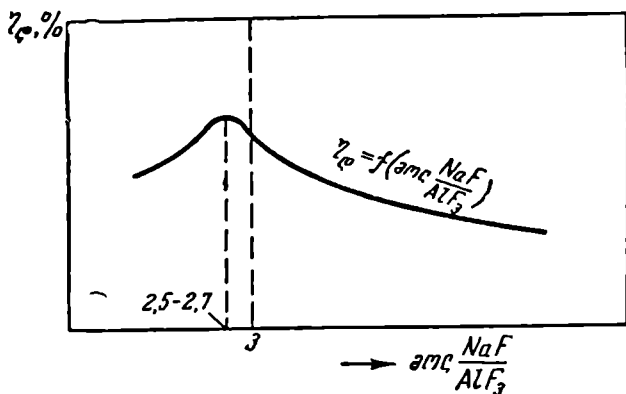
ტემპერატურის გავლენის შესწავლამ ღენის გამოსავალზე გვიჩვენა,
 რომ მაქსიმუმს ვიღებთ 950°-ზე. რაც მეტია ღენის სიმკვრივე და მან-
 ძილი ელექტროდებს შორის, მით მეტია ღენის გამოსავალი, მაგრამ აქ
 უნდა გავითვალისწინოთ, რომ როგორც ღენის სიმკვრივეს, ისე ელექ-

ტროლებს შორის მანძილის გაზრდა იწვევს აბაზანაზე ძაბვის გადიდებას.



სურ. 38. ძაბვის ცვლილება საწარმოო აბაზანაზე დროის მონაკვეთში ორ ანოდურ ელექტს შორის: a) ანოდური ელექტის ჩაქრობა, b) მუდმივი ძაბვა, c) ძაბვის აწევა ანოდური ელექტის წინ, d) მკვეთრი ნახტომი ანოდური ელექტის დროს

დენით გამოსავალი დამოკიდებულია ელექტროლიტის შედგენილობაზედაც ალუმინის მინიმალური დანაკარგები ელექტროლიზის პრო-



სურ. 39. დენით გამოსავლის დამოკიდებულება ელექტროლიტის კრიოლიტური ფარდობისაგან

ცესში მოდის ელექტროლიტზე, რომლის კრიოლიტური ფარდობა ($\text{NaF} : \text{AlF}_3$) უდრის 2,7 (სურ. 39). აქვე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ

კალციუმისა და მაგნიუმის ფტორიდების დამატება 3—5% ფარგლებში, როგორც უკვე იყო აღნიშნული, სასარგებლოა. მათი დამატება ზრდის ელექტროლიტის თხევადდენადობას და იძლევა ელექტროლიზის ტემპერატურის დაწვევის შესაძლებლობას. გარდა ამისა, Ca^{2+} და Mg^{2+} იონები, Na^+ იონთან ერთად მონაწილეობენ დენის გადატანაში; გროვებიან რა კათოდის მახლობლად, ეს იონები ხელს უშლიან Na^+ -ის განმუხტვას და ზრდიან ალუმინისათვის დენით გამოსავალს.

ელექტროლიზის ჩატარება მაღალ ტემპერატურაზე ზრდის ფტორმარილების დანაკარგებს. NaF -ის მაღალი შემცველობისას ელექტროლიტში გამორიცხული არაა Na^+ იონების განმუხტვა კათოდზე.

ანოდური პროცესის შედეგად ალუმინის მისაღებ აბაზანაში ვლუბულობთ ნახშირჟანგსა და ნახშირორჟანგს. ავტორთა ერთი ნაწილი გულისხმობდა, რომ ნახშირბადის ანოდი, ურთიერთქმედებს რა გამოყოფილ ჟანგბადთან, დეპოლარიზატორის როლში გვევლინება. პოლო წლებში საბჭოთა მკვლევართა ნაწილი ანოდს ანიჰებს უფრო აქტიურ როლს. თვლიან, რომ ანოდის ნახშირბადის წვა გადის ქემსორბციის სტადიას. ჟანგბადი ნახშირბადიან ანოდზე, მათი აზრით, ნაბევრად შებოქილ ფორმაშია C_xO ნაერთის სახით. თავის მოსაზრებებს, სხვათა შორის, მკვლევრები ასაბუთებენ იმით, რომ, ერთი მხრივ გამორთული აბაზანა დროის საკმაო მონაკვეთში უკუდენს იძლევა უფრო მაღალი ძაბვით (1,033), ვიდრე ეს შეესაბამება ელექტროლიზის დროს მიმდინარე რეაქციისათვის გაანგარიშებულ პოტენციალს (ასეთი დიდი ელექტროტევადობა არ შეიძლება ჰქონდეს ჟანგბადის ელექტროდს) და, მეორე მხრივ, იმ გარემოებით, რომ ანოდის პოტენციალი გარკვეული დენის ძალისათვის დამოკიდებულია ელექტროლიზის ხანგრძლივობაზე.

ამგვარად, ანოდზე გვაქვს გადაძაბვა, რომელიც დაკავშირებულია არამდგრადი ნახშირბად-ჟანგბადის ნაერთების (C_xO) დაშლასთან, რომლებიც ნახშირბადის ზედაპირზე წარმოქმნიან CO და CO_2 -ს.

საწარმოო აბაზანების ანოდის აირებში CO -ს შემცველობა 15—30%-ის ფარგლებში მერყეობს; ტემპერატურის გაზრდით კი მისი შემცველობა იზრდება.

ანოდზე გამოყოფილი აირების შედგენილობა ანოდური ეფექტის დროს მკვეთრად იცვლება: CO_2 -ის შემცველობა ეცემა 10—40%-მდე, მაშინ, როდესაც აბაზანის ნორმალური მუშაობისას იგი შეადგენს 50—85%-ს, ხოლო CO -ს პროცენტი იზრდება 45—55%-მდე. ანოდური ეფექტის დროს აირებში შეიმჩნევა 10—30%-ის რაოდენობით CF_4 .

ამრიგად, დენით გამოსავალსა და ელექტროენერჯიის ხარჯზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს (ტემპერატურა, დენის სიმკვრივე, ელექ-

ტროლიტის შედგენილობა, ელექტროდებს შორის მანძილი, სიბლანტე, ზედაპირული დაჭიმულობა და სხვ.). ამიტომ ალუმინის თანამედროვე დანადგარის მომსახურება საკმაოდ რთულია და მრავალ მოთხოვნას უნდა აკმაყოფილებდეს. აბაზანის მართვის საკითხი — ნორმალური რეჟიმის დაცვა — ოსტატობიდან ხელოვნებაში გადადის. ამიტომ, რომ ალუმინის მისაღებ საელექტროლიზო აბაზანაში აგრეგატის სწორი მართვა მოითხოვს მორიგე ინჟინრისა და მოსამსახურე პერსონალისაგან თეორიული საფუძვლების კარგ ცოდნას და დიდ პრაქტიკულ გამოცდილებას.

ელექტროლიზის საამქროში ძირითადი რგოლია მებაზანეთა ბრიგადა, რომლის ერთ-ერთ წევრზე ყველა ცვლაში გაპირობებულია გარკვეული რიცხვი აბაზანებისა. მებაზანეებს ხელფასი პროგრესული სისტემით მიეცემათ — გამომუშავებული ლითონის რაოდენობის, მისი ხარისხისა და ელექტროენერჯიის ხარჯის გათვალისწინებით.

ალუმინის წარმოების ტექნოლოგია

მთლიანი ციკლის ალუმინის გამომუშავებელი საწარმო ფრიად რთული და მრავალრიცხოვანი კომბინატია. მასში თავმოყრილია ელექტროლიზისა და სასხმო კორპუსების, თიხამიწისა და ელექტროდების დამამზადებელი ქარხნები, მაღალი ძაბვის დამდაბლებლები და დენის გარდამსახი ქვესადგურები, თბოელექტროცენტრალი, წყალმომარაგების საამქრო, ნარჩენების გადამამუშავებელი, სატრანსპორტო, სარემონტო-მექანიკური, ელექტროსარემონტო და სხვა დამხმარე საამქროები.

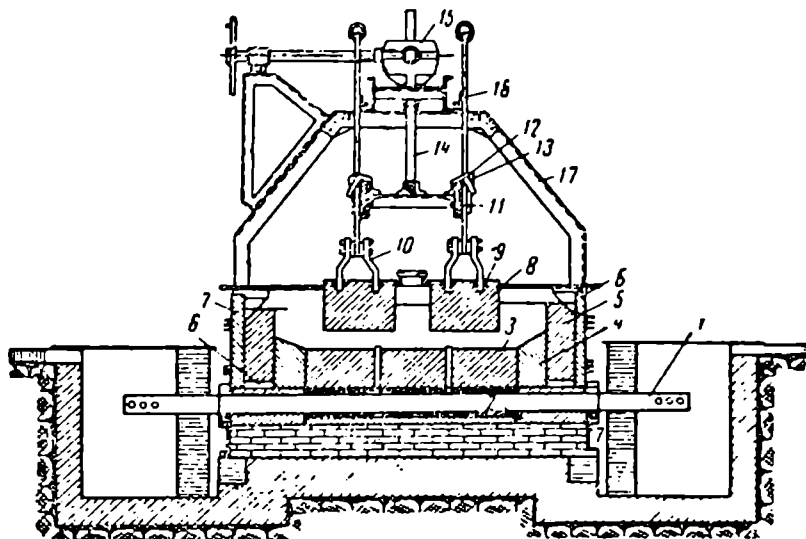
ხშირად ელექტროდების დამამზადებელი და თიხამიწის მწარმოებელი ქარხნები განცალკევებულია ელექტროლიზის ქარხნისაგან. საკითხი იმის შესახებ, რა უფრო ხელსაყრელია — ეს ქარხნები ვიქონიოთ ერთ ტერიტორიაზე ალუმინის მიმღებ ქარხანასთან, თუ ელექტროენერჯიის გამომუშავებელ სადგურთან ან მადნის საბადოსთან — ეკონომიკური გაანგარიშების შედეგად წყდება.

არის შემთხვევები, როცა ალუმინის საბადოსთან, ადგილზე მადნის გადამამუშავება და თიხამიწიდან ალუმინის მიღება უფრო იაფი ჯდება, ხოლო თიხამიწის ტრანსპორტირება ხელსაყრელი არაა. ზოგჯერ კი დიდ მანძილზე ელექტროენერჯიის გადაცემის თავიდან ასაცილებლად ელექტროლიზის ქარხნის აშენება უშუალოდ ელექტროსადგურებთან გამართლებულია.

თანამედროვე ალუმინის ელექტროლიზის ქარხანა შედგება ელექ-

ტროლიზის კორპუსებისა და სამსხმო განყოფილებისაგან. უკანასკნელში ლითონი სუფთაედება მინარევეებისაგან და ჩამოისხმება სასურველ ფორმებში.

საბჭოთა კავშირში 30-იან წლებში, ვოლხოვისა და დნეპრის ალუმინის ქარხნებში დადგმული პირველი მძლავრი საწარმოო აბაზანები



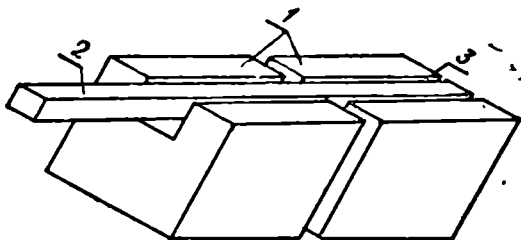
სურ. 40. ალუმინის მისაღები აბაზანა გამომწვარი ანოდებით: 1. ფოლადის კათოდური ძელი; 2. თუჯის ჩანასხამი; 3. ქველის ნახშირის ბლოკები; 4. ჩატკენილი ნახშირის მასა; 5. ნახშირის გვერდითი ბლოკი; 6. ცეცხლგამაძლე აგური; 7. ცეცხლგამძლე ამონაგი; 8. ანოდის ბლოკი; 9. თუჯის ჩანასხამი ანოდის ბლოკში; 10. ფოლადის ლერო; 11. ანოდებისადმი დენმიმყვანი მთავარი სალტი; 12. ფოლადის ლაგამი; 13. ფოლადის სოლი; 14. ამწე მოწყობილობა; 15. ამწე ხრახნი; 16. ანოდის დენმიმყვანი ლერო

დაბალი დენის ძალაზე (23000 ა) მუშაობენ. ამ აბაზანებში 14—16 გამომწვარი ნახშირის ანოდი ჩაიკიდებოდა (სურ. 40) დენის მიმყვანი სალტის მეშვეობით. შემდეგში აღნიშნულ აბაზანებზე დენის ძალა 35 კა-მდე აპყავდათ. პოლუსებს შორის მანძილის რეგულირება თვითეული ანოდისათვის ცალკე ხდებოდა. ანოდების მნიშვნელოვნად დაწვევისას მათ ცვლიდნენ. აბაზანა არ იყო გადახურული და მავნე აირები საამქროშივე გამოიყოფოდა. ამ აბაზანების ექსპლოატაცია დაკავშირებული იყო მავნე გარემოში, მაღალი ტემპერატურის პირო-

ბებში მძიმე და შრომატევადი სამუშაოს შესრულებასთან (ანოდების ნამწვის ამოღება, ახალი ანოდის ჩადგმა, თიხამიწისა და ფტორმარილების ჩატვირთვა, ალუმინის ამოღება და სხვ.).

აბაზანის კარკასის ბორტზე იდგმება რკინის ჩარჩო. ჩარჩოზე დაყრდნობილ დენის მიმყვან სქელ სალტეზე იკიდება ნახშირის ანოდები. კათოდისადმი დენის მიმყვან ალუმინის სალტეს უერთებენ რკინის ღეროს, რომელიც მაგრდება ნახშირის ბლოკში თუჯით (სურ. 41).

ალუმინის მისაღები აბაზანების შემდეგი სრულყოფა, ძირითადად, წარიმართა მათზე დენის სიმძლავრის გაზრდით და ანოდის მოწყობილობის შეცვლით. ამჟამად აბაზანები მუშაობენ 80—225 კა დენის ძალაზე. ამპერაჟის გაზრდამ შესაძლებელი გახადა დენის სიმკვრივის დაწვეა 0,6—0,7 ა/სმ², რასაც მოყვა ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯის შემცირება (16 მკტ-ს ტონა ალუმინზე). თვითცხოვადი ანოდის გამოყენებით მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდა აბაზანის კონსტრუქცია და მომსახურების პირობები.



სურ. 41. კათოდური ბლოკი თუჯით ჩამაგრებული დენმიმყვანი ღეროთი: 1. კათოდური ბლოკი; 2. დენმიმყვანი ძელი; 3. ღარი, რომელშიც ასხავენ მაკონტაქტებელ თუჯს

თვითცხოვადი ანოდის მქონე აბაზანის ფსკერზე განლაგებული შამოტის აგურზე ეწყობა ნახშირის (კათოდის) ბლოკები. დენის მიყვანა ბლოკებთან ხდება ფოლადის ღეროებით (ჩვეულებრივ ორ ბლოკზე ერთი ღერო). დენმიმყვანის ღეროს ჩასადგმელად კათოდის ბლოკში მთელ სიგრძეზე ამოიღება ღარი. რკინის ღერო მაგრდება ბლოკში თუჯით. ფიქრობენ თუჯის შეცვლას დატკეპნილი ნახშირბადიანი მასით.

გვერდის კედლები ამოგებულია შამოტის აგურით და შიგა მხრიდან ნახშირის ფილებით. დენი ანოდთან მიიყვანება სპეციალური მანქვალების საშუალებით. მანქვალის სიგრძე 90—100 სმ-ს შეადგენს. მათი ანოდის მასაში ჩასმა და ამოძრობა სპეციალური მანქანებით ხდება. ეს მანქანები მეტწილად პნევმატიკური პრინციპით (შეკუმშული ჰაერის გამოყენებით) მუშაობენ. მანქვალებს რამდენიმე რიგად (ჭადრაკული წესით) ჩაარჭობენ ელექტროდის მასაში უმეტესად ორი მხრიდან. აბაზანაზე სულ 80—100 მანქვალაა. როდესაც მანქვალთა რიგი ელექტროლიტის ზედაპირს დაუახლოვდება, ამ რიგის მანქვალებს ამოაძრობენ და გადაადგილებენ ზედა ზონაში შეცხოების კონუსის ზევით, აქ საელექტროდო მასა ჯერ არაა დაკოქსილი და მისი დაკოქსვა და შექვიდვა მანქვალთან ელექტროდის ჩამოშვებასთან ერთად ხდება.

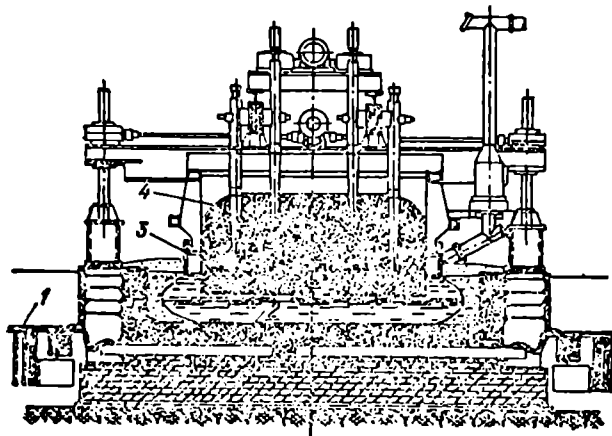
აბაზანაში განარჩევენ კათოდურ და ანოდურ მოწყობილობებს. ანოდის გარსაცმი ერთი მილიმეტრის სისქის ალუმინის ფურცლებისგანაა შედგენილი. სიმაგრისათვის მას ფოლადის კარკასი და ფოლადისვე მიმმართველები აქვს გარშემორტყმული. ანოდის გარსაცმი შეიძლება მეტრიანი სიმაღლის ცალკე ნაწილებისაგან ავაწყოთ. ასეთ მთლიანად შეკრულ ნაწილს მიაღებენ ხოლმე ძველ გარსაცმზე. ალუმინის ფურცლებისაგან შედგენილ გარსაცმში იყრება ელექტროდული მასის ბრიკეტები, რომლებიც უფრო მაღალ ზონაში მოხვედრისას ღვებება, გამოყოფს აქროლად ნივთიერებებს და იკოქსება. ანოდის დაკოქსილ ნაწილში შერკობილი მანქვალების საშუალებით ანოდი ჩამოკიდებულია ანოდის ჩარჩოზე. ჩარჩოს აქვს ფრთები, რომლებშიც გაყრილია მანქვალები. ანოდის მოწეისდა მიხედვით სპეციალური მექანიზმის საშუალებით ხდება ჩარჩოს ჩამოშვება, რასთანაც დაკავშირებულია მასზე ჩამოკიდებული ანოდის ჩაშვებაც. ანოდის ჩარჩო იდგმება აბაზანის კარკასზე. შეცხოების კონუსის ზევით ელექტროდის მასა ცომისებურია, ხოლო კიდევ ზევით თხევადია. ელექტროდული მასის ახლად ჩამატებული ულუფების შეწებება რომ მოხდეს ძველ მასასთან, ელექტროდის გარსაცმის შიგნით, მასის ზედაპირზე ტემპერატურა არ უნდა იყოს 100°-ზე ნაკლები.

აბაზანის გვერდები და ზედა ნაწილი დაფარულია გამყარებული ელექტროლიტით, რომელიც იცავს გვერდით კედლებს გამლდვალ ელექტროლიტთან ურთიერთობისაგან და ამცირებს სითბოს დანაკარგებს. ამ გამყარებული ელექტროლიტის ზედაპირზე ელექტროდის გარშემო იყრება თიხამიწა, რომელიც ელექტროლიტში ჩატვირთვამდე განიცდის წინასწარ შრობას.

ელექტროლიტის ქერქის ქვემოდან ამოსული აირების მსველელობისა და შეფერვის მიხედვით გამოცდილი მეაბაზანე აკეთებს დას-

კენებს აბაზანის ნორმალური მუშაობისა და მისი „ავადმყოფობის“ შესახებ.

გარდა აღწერილი ანოდისა გვერდიდან შერჭობილი მანქვალეებით, წარმოებაში გამოყენებულია თვითცხობადი ანოდები ზემოდან დენის მიყვანით (სურ. 42).



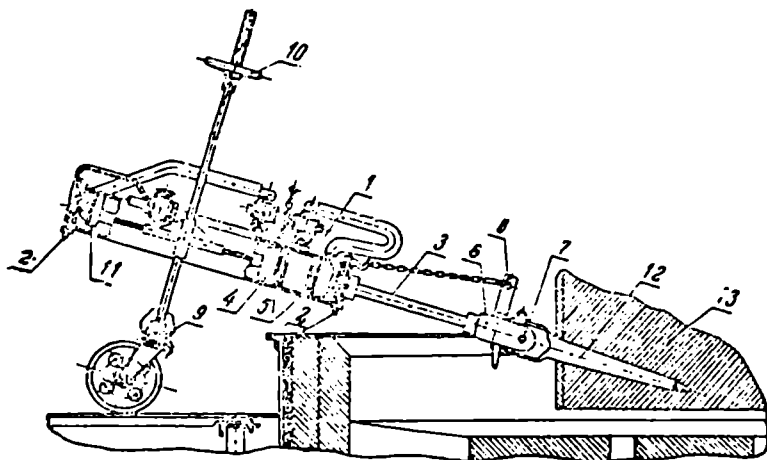
სურ. 42. დიდი სიძლავრის ალუმინის მისაღები აბაზანა ანოდთან დენის ზევიდან მიყვანით: 1. კათოდური სალტე; 2. საღვარები; 3. აირშემკრები; 4. ანოდის გარსაცმი (პერანგი); 5. ანოდის ჩარჩო, 6. დამხმარე ამწე მექანიზმი; 7. ანოდის სალტე; 8. ანოდის მანქვალე; 9. მანქვალის საკონტაქტო კვანძი; 10. ძირითადი ამწე მექანიზმი; 11. საცეცხლური; 12. ელექტროიზოლაცია; 13. ანოდი; 14. ფსკერის ამონაგი; 15 და 16. საძირკველი

ასეთი ანოდები ელექტროლიტის გარშემო გამოყოფილი აირების შეკრების შესაძლებლობას იძლევა. ამ შემთხვევაში აბაზანიდან გაწოვილი აირები უფრო კონცენტრირებულია ფტორმარილების მიშართ. ამ აირების (კონცენტრირებული) შემკრები სავენტილაციო მოწყობილობა ნაწილობრივ ჩატვირთულია გამყარებული ელექტროლიტის ქერქზე დაყრილი თიხამიწის ფენაში. ზევიდან დენის მოყვანისა მანქვალთა ზომები უფრო დიდია, ხოლო რაოდენობა — ნაკლები.

მთელ რიგ უპირატესობასთან, რომელიც ასეთ აბაზანებს ახასიათებს, უნდა აღინიშნოს მათი ნაკლიც, რაც გამოიხატება ძაბვის ზრდაში 0,1—0,3 ვოლტით.

მანქალის ზედა განლაგების შემთხვევაში მათი ამოძრობა ამწით ხდება.

ანოდის მასიდან მანქალების ამოძრობა ხდება პნევმატური მექანიზმით (სურ. 43). მექანიზმი შედგება ცილინდრისაგან 1, რომელიც ორივე მხრიდან დახურულია ხუფებით 2. სამოსტო ღერო 3 შეერთებულია ღრუშთან, რომელსაც წამოცმული აქვს რეზინის რგოლები 5.



სურ. 43. ანოდის მანქალების ამოძრობის პნევმატური მექანიზმი

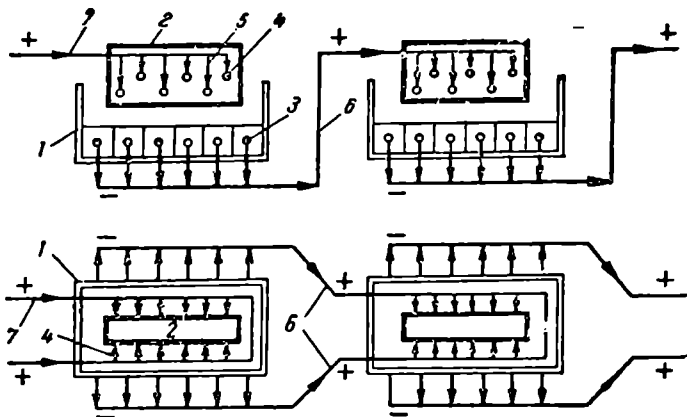
მოდრავი ღეროს ამოძრობ მანქალთან აკავშირებენ შემაერთებლით 5,8; მექანიზმი დადგმულია ორბორბლიან ურიკაზე 9. საკისი 10 ტრიალით ხდება ცილინდრის აწევა ისეთ სიმაღლეზე, რომ მანქალი და ცილინდრთან დამაგრებული ღერო ერთ ხაზზე იყოს. ორსკლიანი ონკანის მეშვეობით ცილინდრში აწვდიან 4 ატმ. წნევის მქონე პაერს, რის შედეგადაც ღრუში გადაადგილდება და აძრობს მანქალს ანოდის მასიდან 13.

აბაზანის კათოდურ მოწყობილობაში შედის აბაზანის კარკასი, რომელიც ფოლადის დიდი შვერილებისა და ფურცლებისაგან იკვრება; კარკასი იდგმება აგურის ქვენაგებზე; კარკასის შიგნით კათოდური ბლოკებისა და გვერდითი ამონაგის ჩაწყობის შემდეგ წარმოქმნილ მოცულობაში გამლვალ ელექტროლიტის ქვეშ განლაგებულია თხევადი ალუმინის ფენა. ერთადერთი მასალა, რომელიც გამოიყენება აბაზანის შიგნითა ამონაგად, ჯერჯერობით ნახშირის ბლოკები და ფილე-

ბია. ბლოკების ზომები სხვადასხვაა; ყველაზე გავრცელებულია $550 \times 400 \times 400$ მმ ზომის ბლოკები. აბაზანამ უწყვეტად უნდა იმუშაოს არანაკლებ 3 წლისა. აბაზანის მუშაობის ხანგრძლივობა მისი მონტაჟისა და გამოყენებული მასალების ხარისხზეა დამოკიდებული.

აბაზანის საძირკველს ზოგჯერ ბეტონისაგან აგებენ; მასზე აგურის წყობაა, რომელსაც ედგმება შველურებისაგან შეკრული გარსაცმი. ბლოკების ქვეშ იყრება რამდენიმე სანტიმეტრის სისქის ნახშირის მასის „ბალიში“. კათოდური ლეროების ჩამაგრებამდე მათ ასუფთავებენ და ბლოკების სექციას ათბობენ თუჯის ჩასხმამდე. აბაზანის გვერდითი ზედაპირის ამოგება ხდება ნახშირის ფილების ორი რიგით.

დენის მიყვანა აბაზანაზე ორმხრივია (სურ. 44). აუცილებელია აბაზანის ანოდური და კათოდური მოწყობილობის კარგი ურთიერთიზოლაცია, კერძოდ, კარკასის იზოლაცია ანოდისა და აბაზანის ფარდებისაგან.



სურ. 44. ალუმინის აბაზანის დენით კვების სქემა: 1. აბაზანის კორპუსი; 2. ანოდი; 3. დენმიმყვანი სალტები; 4. მოქნილი დენმიმყვანი სალტი; 5. ანოდის მანქვალი; 6. კათოდის ლერო; 7. ანოდის დგარი

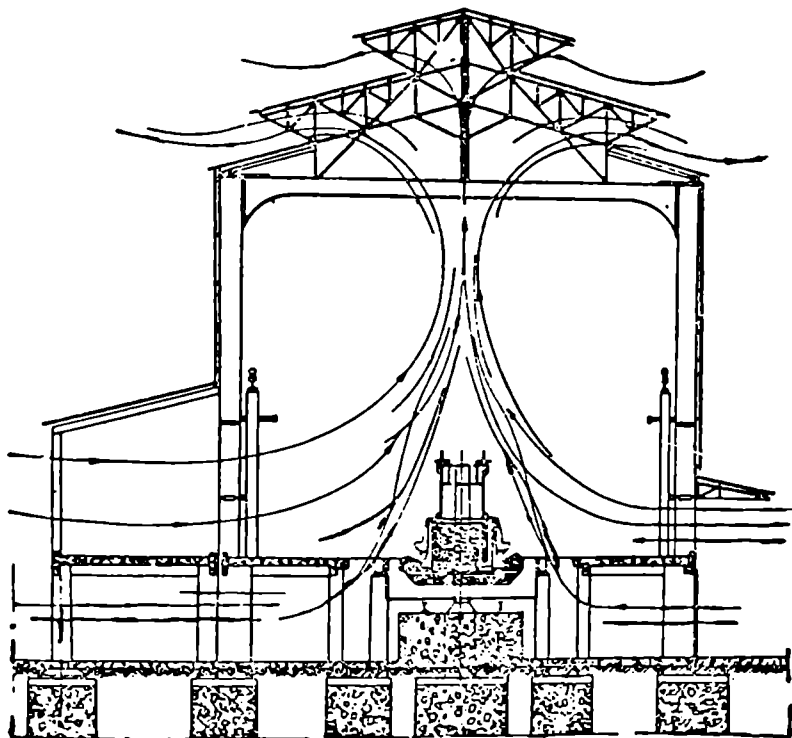
დენის სიმკვრივე გაიანგარიშება დენის მიმყვანი სისტემების ყველა ნაწილში. იგი არ უნდა იყოს ერთ ამპერზე მეტი გამტარის კვეთის მმ^2 -ზე. ეკონომიურად გამართლებულია, რომ დენის სიმკვრივის შერჩევასა მხედველობაში ღებულობენ ელექტროენერგიის ღირებულებასაც.

მავნე აირების გასაწოვად აბაზანა აღჭურვილია ალუმინის ფურცლებისაგან შეკრული ფარდებით და თავსახურით. ფარდები შეიძლე-

ბა იყოს განზე გასაწევი (როგორც რკინიგზის სატვირთო ვაგონებში) ან ზევით ასახვევი.

თვითცხობადი ელექტროდი უფრო იაფია, აბაზანის მექანიზაცია: უფრო ადვილია, მომსახურება მოითხოვს ნაკლებ შრომით დანაკარკებს, იგი უფრო ჰიგიენურია.

რადგან ბლოკებიანი ანოდებით აბაზანებში ელექტროდის მასის დაკოქსვა და მასთან დაკავშირებით აირების გამოყოფა არ ხდება, ასეთი აბაზანები თავლიაა.

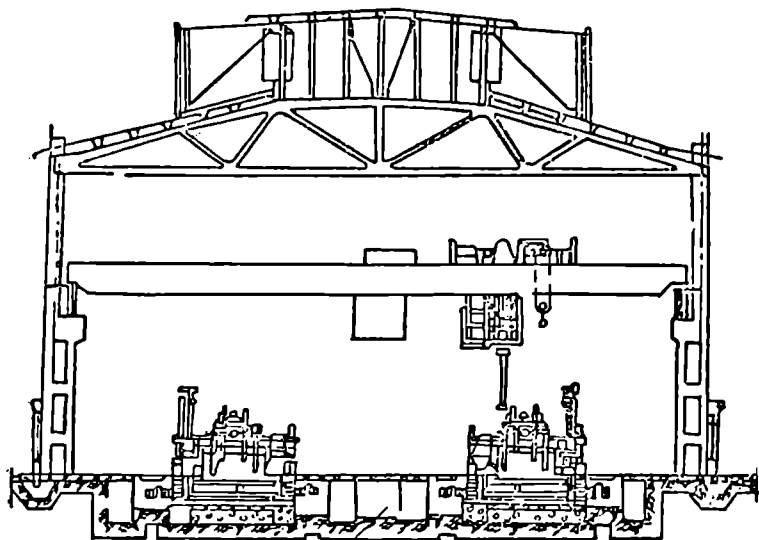


სურ. 45. საელექტროლიზო დარბაზის განივი კრილი ერთ რიგში კანლაგებულ მძლავრი აბაზანებით

ელექტროლიზის კორპუსები ჩვეულებრივ ერთსართულიანი შენობებია. აბაზანები აქ ნაწილობრივ „ჩაფლულია“ იატაკში. აბაზანის გარშემო ღრმა არხებია, რომლებშიც დენმიმცემი სალტეები აწყვია.

თანამედროვე ელექტროლიზის საამქროებში აბაზანები განლაგებულია ორ ან ოთხ რიგად. უკანასკნელ დროს ძალიან დიდი სიმძლავრის აბაზანები დაგეგმარებულია ერთ რიგად ორსართულიან შენობაში.

სინდიის გამმართველებზე მომუშავე სერია 600—800 ვ ძაბვაზე მუშაობს. ასეთ სერიაში თანამიმდევრულად 120—180 აბაზანას რთავენ. ნახევარგამტარებზე მომუშავე სერიას 320—450 ვოლტზე ამუშავენ. სერია შეიძლება ორ შენობაში განლაგდეს, რომლის ერთი ბოლო გამმართველი ქვესადგურის შენობაა. ასეთი განლაგება ამცირებს

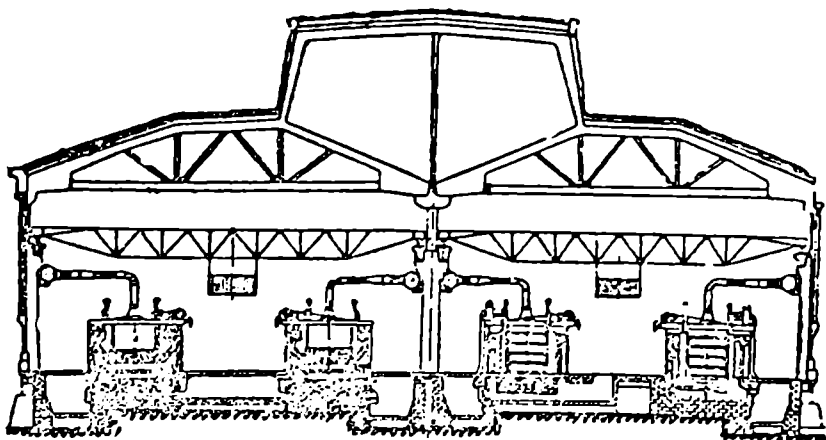


საქვესადგური ანბი.

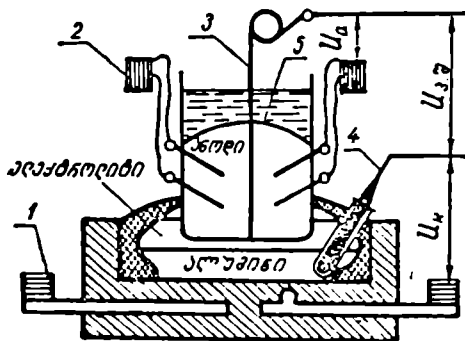
სურ. 46. დენის ზევიდან მიყვანით მომუშავე აბაზანებიანი საელექტროლიზო დარბაზის კრილი

ძაბვის დანაკარგებს დენის მიმყვან სალტებში, რადგან მიმდევრობით ჩართული აბაზანებისაგან შემდგარი ჯაჭვი იწყება და მთავრდება შენობის იმ ბოლოსთან, რომელთანაც ახლოსაა მიშენებული ქვესადგური. სინდიის გამმართველების მარგი ქმედების კოეფიციენტი ბევრად მაღალია, ვიდრე მორტორგენერატორებისა, მაგრამ 3—4%-ით მინც ნაკლებია ამჟამად უკვე წარმოებაში ფართოდ გამოყენებულ სილიციუმისა და გერმანიუმის ნახევარგამტარულ გამმართველებთან შედარებით.

საელექტროლიზო საამქროს მთელ სიგრძეზე ჰერში დატანებულია სარკმელი, რომლის დანიშნულებაა საამქროს განათებულობისა და ვენტელაციის პირობების გაუმჯობესება.

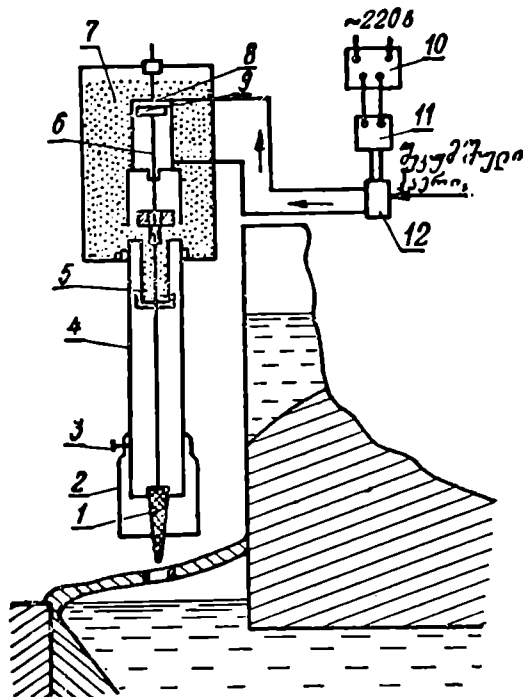


სურ. 47. საელექტროლიზო დარბაზის კრილი. აბაზანებში დენის მიყვანა ხდება გვერდიდან



სურ. 48. ალუმინის აბაზანაში ელექტროლებს შორის მანძილის ავტომატური რეგულირების სქემა საკონტაქტო ბოგირის მეოხებით, ანოდსა და კათოდს შორის მუდმივ პოტენციალთა სხვაობის შენარჩუნებით: 1. დენმიმცემი სალტების პაკეტი; 2. ანოდთან დენმიმცემი სალტები; 3. ანოდის ზედაპირამდე მიმცემი საკონტაქტო მათული; 4. ლობილიანი ნახევარელემენტი; 5. შეცხობის კონუსი

დენმიმყვანი სალტეების განლაგებისათვის იატაკში დატოვებული არხები (სურ. 46, 47). ეს არხები გადახურულია ფილებით და გამოყენებულია ვენტილაციისათვის დამატებითი ჰაერის მისაწოდებლად.



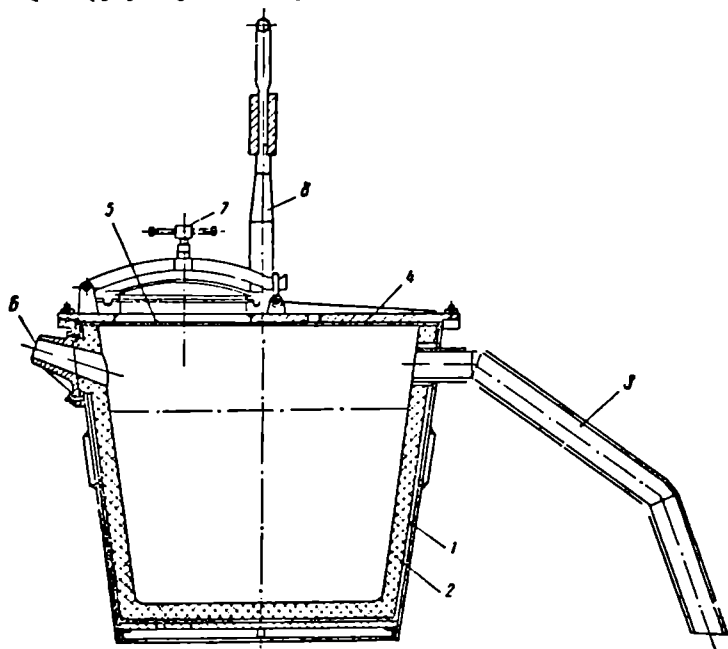
სურ. 49. აბაზანის თიხამიწით კვების მოწყობილობის ესკიზი:

1. გამყარებული ელექტროლიტის ქერქის სამტერველას თაურა; 2. ხუფი; 3. მიმპერი ხაზანი; 4. მილი; 5. დოზატორი; 6. მთავარი ღერო; 7. ჰუნკერი; 8. ცილინდრი; 9. დგუში; 10. დროის რელე; 11. ელექტრომაგნიტი; 12. ორსულიანი აირგამაწაილებელი.

საელექტროლიზო კორპუსის შენობას აქვს გასასვლელი საამპროს თავში, ბოლოსა და შუაში. იქ თავისუფლად შედის ავტომანქანა ნედლეულითა და სხვა მასალებით. ცალკეული კორპუსები კორიდორით შეერთებულია ერთმანეთთან და სასხმო კორპუსთან.

ქათის გადამამუშავებელი საამქრო, ცენტრალური ლაბორატორია და ხელსაწყოთა სახელოსნო განლაგებულია ცალკე სათავსოებში.

ელექტროლიზის საამქროში მასალების გადატანა ძირითადად ხდება ამწეთი. საამქრო აღჭურვილია შეკუმშული ჰაერის სადენით. იატაკზე დაფენილია საიზოლაციო მასალა (ასფალტი, დიაბაზის ფილები); საამქროში არ შეიძლება იყოს დიდი ზომის რკინის ნაწილები (მოკლე ჩართვის თავიდან ასაცილებლად). აუცილებელია ამწეს იზოლაცია. დიდი ძალის დენები ქმნიან მძლავრ მაგნიტურ ველებს, რაც იწვევს აბა-



სურ. 50. აბაზანიდან ალუმინის ამოსაღები ვაკუუმ-ციცხვი

1. კორპუსი; 2. შამოტის აგური; 3. შეწოვი მილი; 4. სახურავი; 5. სარკმელი;
6. სათვალთვალო ხვრელი; 7. ეექტორი; 8. ტრავერსი

ზანაში ელექტროლიტის სარკის დამახინჯებას. დიდია დანაკარგები კონტაქტებში, რომლებიც, სადაც ეს შესაძლებელია, შედუღებული უნდა იყოს; ბუნებრივი განიაგების გარდა, რაც ხორციელდება იატაკში დატანებული სავენტილაციო არხებით; მავენ აირების გასაწოვად საამქროსთან არის 120-მეტრიანი სავენტილაციო მილი.

ალუმინის თანამედროვე აბაზანაში ავტომატიზებულია თიხამიწის

მიწოდება, ელექტროდებს შორის მანძილის მუდმივობის დაცვა და სხვ.

ალუმინის ამოღება აბაზანებიდან წარმოებს ვაკუუმ-ციცხვის მე-ობებით (სურ. 50).

ცხრილი 12

ალუმინის აბაზანის თბური ბალანსი

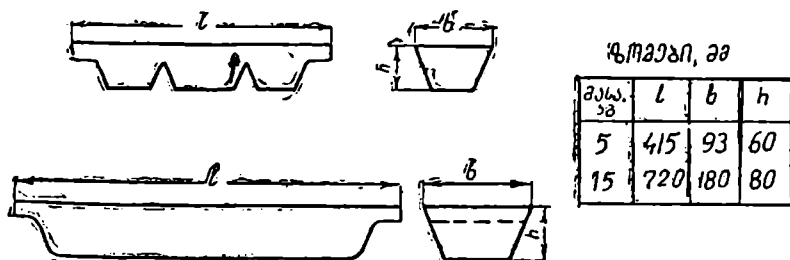
სითბოს შემოსავალი	კვალ/სთ	%	სითბოს გასავალი	კვალ/სთ	%
1. ელექტროენერგია	47690	84,4	1. თიხამიწის დაშლაზე	281360	49,8
2. ანოდების წვის შედეგად			88340	15,6	2. ამოტვირთულ ალუმინთან
			3. აირებთან	6560	1,2
			4. თბოდანაკარგების კომპენსაციაზე	256840	45,5
			5. შეუსაბამობა	7560	1,3
სულ	564830	100	სულ	564830	100

ცხრილი 13

ალუმინის აბაზანის ძაბვის ბალანსი

ძაბვის ვარდნის ადგილი	ძაბვის ვარდნის სიდიდე, ვ	%
1. დაშლის ძაბვა	1,600	34,0
2. დენის მიმყვანი ნაწილი	1,467	9,8
3. ანოდი	0,653	13,2
4. ელექტროლიტი	1,598	33,8
5. ქველი	0,358	7,5
ძაბვა აბაზანის მომპერებზე	4,676	98,3
6. საშუალო ძაბვა ანოდური ეფექტისაგან	0,053	1,1
7. სერიული საერთო დენმიმყვანებში	0,027	0,6
საშუალო ძაბვა	4,756	100

სურ. 51-ზე ნაჩვენებია ალუმინის სტანდარტული შოთების ზომები და წონები (ГОСТ. 1070—74).



სურ. 51. ალუმინის სტანდარტული შოთები (ГОСТ—1070—74)

ცხრ. 14—15-ში მოყვანილია ალუმინის მისაღები საელექტროლიზო აბაზანის თბური და ელექტრობალანსი. როგორც მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, თიხამიწის დაშლაზე იხარჯება აბაზანაში შეყვანილი ენერჯიის მხოლოდ 49,8% და აბაზანის მომქერებზე მიყვანილი ძაბვის 33,6%.

ალუმინის წარმოების კალკულაცია (ცხრ. 12) გვიჩვენებს, რომ ძირითადი ხარჯები მოდის ნედლეულზე (60%) და ელექტროენერჯიაზე (20%), ხოლო ხელფასი შეადგენს საერთო ხარჯების მხოლოდ 8%-ს.

ალუმინის აბაზანის „ავადმოწობანი“

ცხელი სვლა შეიმჩნევა გარნისა და ქერქის გაღობით. ელექტროლიტის ზედაპირზე ქერქი ადვილად იმტვრევა, რასაც შეიტყობს მეაბაზანე თიხამიწის მორიგი ულუფის ჩატვირთვისას.

ცხელი სვლის მიზეზი მრავალია: მაღალი ტემპერატურა, გამოწვეული ელექტროდებს შორის მანძილის გაზრდით; დიდი დენის ძალა, ლითონის ფენის შეთხელება, რაც ამცირებს აბაზანის გვერდებიდან სითბოს დანაკარგებს; ელექტროლიტის დანახშირბადიანება, რაც ცვლის მის ელექტროწინააღმდეგობას; უხარისხო ნედლეული, დენის სიმკვრივისა და აბაზანის კვების რეჟიმის არასწორი შერჩევა; ანოდის

ნაწილაკების ჩამოტეხა, ანოდის კაზმის არასწორად შერჩევა და სხვა მიზეზები, რომლებიც არღვევენ აბაზანის წონასწორულ სითბოს ბალანსს.

ცხელი სვლის გამოსწორება შეიძლება ელექტროდებს შორის მანძილის შემცირებით, რასაც ახდენენ ანოდის ჩაშვებით ან აბაზანაში ლითონის ჩამატებით. ჩამატებული ლითონი გადნობისას შთანთქავს სითბოს, ზრდის გაღობილი ალუმინის ფენას, სათანადოდ ზრდის სითბოს დანაკარგებს კედლებიდან, რომლებსაც ეხება გამღლვალ ალუმინის ფენა.

ცხელი სვლის დროს ელექტროლიტი ადნობს გარნისაყს და ეხება ამონაგის გვერდით ფილებს, რაც ხელს უწყობს აბაზანაზე დენის ე. წ. გვერდით სვლას (გვერდის ამონაგის გაქმას); ეს კი არასასურველია.

ცხელი სვლა ხელს უწყობს ქაფის არევის ელექტროლიტში და ზრდის მის ელექტროწინააღმდეგობას.

ანოდის არათანაბარი წვისას მის ბოლოებზე წარმოიქმნება კონუსური შვერილები, რომლებზედაც დენის ძალა იზრდება. ეს იწვევს დენის ძალის არათანაბარ განაწილებას ანოდის ზედაპირზე. შვერილებმა შეიძლება გამოიწვიოს თხევადი ლითონისა და ანოდის მოკლე ჩართვა და სათანადოდ დენის გამოსავლის შემცირება.

ანოდის არათანაბარი მოწვა და მოკლე ჩართვა, თუ ზომები დროზე არ მივიღეთ, გამოიწვევს აბაზანის ცხელ სვლას.

შვერილებისა და კონუსების მომტვრევა, თუ ისინი ნაპირებზეა, ხდება რკინის ლეროთი ან თოხით, ხოლო თუ შვერილი და კონუსი შუაშია და მისი მოტეხა ძნელია, მას მოწვავენ რამდენიმე დღის განმავლობაში ანოდის ამოწვით, ისე, რომ კონუსის გარშემო ელექტროლიტი დულს. ამ დროს აბაზანას სისტემატურად აცილებენ ნაბშირბადის შემცველ ქაფს.

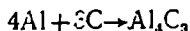
ცივი სვლა აბაზანისა ყოველთვის ადვილად შეიმჩნევა, როგორც კი ტემპერატურა 940° -ზე დაბლა ეცემა. ცივი სვლისათვის დამახასიათებელია სქელი გარნისაყი. ამ შემთხვევაში თიხამიწა არ იხსნება ელექტროლიტში და გროვდება აბაზანის ფსკერზე. ცივი სვლის გამოსწორებისათვის ზედმეტ ლითონს ამოიღებენ აბაზანიდან და ზრდიან მანძილს ელექტროდებს შორის. ცივი სვლის დროს გარნისაყის გაზრდის გამო ელექტროლიტის რაოდენობა მცირდება და ეს გათვალისწინებულია თიხამიწის ულუფის ჩატვირთვისას. ასეთ აბაზანაში ანოდის ეფექტი უფრო მალე ჩნდება, რადგან ელექტროლიტში გახსნილი თიხამიწის რაოდენობა შემცირებულია. ამ შემთხვევაში ანოდური ეფექტის მოვლენა უფრო მკვეთრად შეიმჩნევა. საკონტროლო ნათურა უფრო მძლავრად და ხშირად კაშკაშებს. ცივი სვლისას აბაზა-

ნის ფსკერზე წარმოიქმნება თიხამიწისა და ალუმინის კარბიდის (Al_4C_3) სოკოები.

ზედა მანქვალის მქონე ანოდებიან აბაზანებში ხშირად შეიმჩნევა ამოღებული მანქვალის ნახვრეტებში მასის ცუდი დაკოქსება; ესაა ხშირად ანოდის დამტვერვისა და ჩამოტეხის მიზეზი. აბაზანის ნორმალური რეჟიმის დარღვევა შეიძლება იყოს ელექტროლიტის ქვეშ მაგნიტური ველის ზეგავლენით ლითონის ზედაპირის დახრის შედეგი. მაგნიტური ველები აბაზანასთან დიდი დენის გამო იმდენად ძლიერია, რომ მეაბაზანის ხელის საათის ქანქარა არაზუსტად იწყებს მუშაობას.

პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევები აბაზანის ფსკერის ამოწვისა მისი ფტორმარილებით გაყვანილობის გამო.

აბაზანის დაკარბიდება დაკავშირებულია ალუმინის კარბიდის წარმოქმნასთან. დაკარბიდების რეაქცია



დიდ სიბრტყე გამოყოფს; ეს რეაქცია მიდის მაღალ ტემპერატურაზე. ჩვეულებრივ კარბიდი ყვითელი ფერისაა და წარმოიშევა დანახშირებულ აბაზანაში, რომლის ფსკერზე თიხამიწის ფენებია. კარბიდის წარმოქმნა იწყება ერთ გადახურებულ ადგილას და შემდეგ ვრცელდება მის გარემოში. დაკარბიდების წარმოქმნის ძაბვა აბაზანაზე იზრდება. კარბიდის სოკოებიანი აბაზანის გამოსწორება ძნელია.

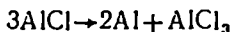
ალუმინის მიღება ალუმინის დაზლით

კრიოლიტ-თიხამიწის ლლობილის ელექტროლიზით ალუმინის მიღების კლასიკურად აღიარებული მეთოდი ხასიათდება რიგი ნაკლოვანებით. უწინარესად აღსანიშნავია ელექტროენერჯისა და ნახშირბადოვანი მასალის დიდი ხარჯი და მკვეთრი აირების — ფტორიდებისა და ნახშირყვანის გამოყოფა.

იმ შემთავაზებული პროცესებიდან, რომელთაც მომავალში შეუძლიათ კონკურენცია გაუწიონ კლასიკურ მეთოდს, პირველ რიგში აღსანიშნავია ალუმინქლორის თერმული და ელექტროლიზური მეთოდით დაშლა.

კანადის ფირმის მიერ რეკომენდებული ხერხი ითვალისწინებს ალუმინის შემცველი ნედლეულის ელექტროლიზში აღდგენით ჰერ 50% Al, 30% Fe, 10% Si, 5% Ti და 5% C შემცველი შენადნობის, ხოლო შემდეგ ამ შენადნობის 1300° -ზე დაქლორვით $AlCl_3$ -ის მიღება.

ბას. ამ უკანასკნელის გახურება 700°-ზე დისპროპორციონირების რეაქციის შედეგად გვაძლევს ლითონურ ალუმინს:

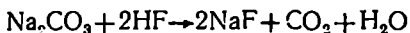


ფირმა „ტოტ“ ალუმინის შემცველი ნედლეულის დაქლორვას ახდენს 925°-ზე კოქსის თანაობისას. ალუმინის აღსადგენ რეაგენტად რეკომენდებულია მანგანუმი, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე უფრო უარყოფითი პოტენციალით ხასიათდება, ვიდრე ალუმინი.

„ალკოას“ ფირმის (აშშ) საცდელ ქარხანაში გამოყენებული ტექნოლოგიური სქემის შესაბამისად, ელექტროლიტი შედგება NaCl (53%), KCl-ისა (40%) და AlCl₃-გან (7%). ელექტროლიზის ტემპერატურა არის 700°. გამოყენებულია გრაფიტის ბიპოლარულად მომუშავე ელექტროდებიანი აბაზანა. ნახევრადქარხნულ პირობებში ჩატარებულმა შემოწმებამ დაადასტურა ქლორიდის ელექტროლიზის პერსპექტიულობა. მეთოდის ფართო დანერგვას აბრკოლებს აპარატურის დასამზადებლად გამოყენებული მასალის დეფიციტი, აგრეთვე ამ აპარატურის კონსტრუქციის დახვეწისა და სრულყოფის აუცილებლობა.

უსაფრთხოების ტექნიკა და ბარემოს დაცვა

ალუმინის მისაღები აბაზანიდან მნიშვნელოვანი რაოდენობით მავნე აირების (HF, CO, Cl₂) და მტვერის გამოყოფის გამო, აუცილებელია მათი დაჭერა და უტილიზაცია. ამ პროცესს ახორციელებენ სპეციალურ აირშთამნთქმელ დანადგარებში. მათი დანიშნულებაა აბაზანიდან გამოწოვილი აირის გაწმენდა და აბაზანიდან გამოტანილი ფტორმარილების მნიშვნელოვანი ნაწილის საწარმოო ციკლში დაბრუნება-უტილიზაცია. თვითცნობად ანოდთან დენის გვერდიდან მიყვანისას ამოწოვილი აირის მოცულობა ფრიად დიდია, იგი 50 კა აბაზანისათვის აღწევს 1 მ³/სეკ. ეს აირები შეიცავენ 40 გ/მ³ HF, 10 მგ/მ³ ფისსა და 90 მგ/მ³ ფტორის მარილებს (Na₃AlF₆, AlF₃, NaF). HF შთაინთქმება 5%-იან Na₂CO₃-ის ხსნართან ურთიერთქმედების შედეგად. ვიღებთ ნატრიუმფტორს:



NaF-ისა და NaHCO₃-ის შემცველ ხსნარში ალუმინატის დამატება გვაძლევს კრიოლიტს.

თვითცნობად ანოდთან დენის ზევიდან მიყვანა მნიშვნელოვნად აადვილებს აირგამწოვი სისტემის მუშაობას და ამცირებს გაწოვილი

აირის მოცულობას. არსებული ქარხნების რეკონსტრუქციისა და ახალი ქარხნების მშენებლობისას ელექტროლიზის საამქროებში შრომის სანიტარულ-ტექნიკური პირობების მკვეთრი გაუმჯობესების მიზნით იგეგმება ზემდგომი აბაზანები; ასეთ აბაზანებზე გათვალისწინებულია ანოდის ეფექტის მასივნილიზებული მოწყობილობა და თიხამიწით ავტომატიზებული კვება წინასწარ დაბრიკეტებული თიხამიწისა და ფტორმარილებისაგან შემდგარი კაზმით, აგრეთვე აბაზანების მომსახურების სრული მექანიზაცია და მათი დისტანციური მართვის სისტემა.

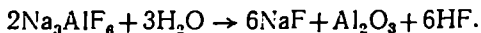
თიხამიწის ჩატვირთვის ავტომატიკურ მართვას აღწევენ გამლღავლი ელექტროლიტის ელექტროწინალობის გაზომვის შედეგად. დადგენილია, რომ აბაზანაში ჩატვირთული თიხამიწის გახსნისას ელექტროლიტის ელექტროწინალობის სიდიდე აღწევს მაქსიმუმს, შემდეგ თანდათანობით მცირდება და ანოდის ეფექტის დაწყებისთანავე იწყებს მატებას. ეს მონაცემები გადაეცემა აბაზანის დამუშავების შემსრულებელ მექანიზმს.

საზღვარგარეთ ზოგიერთ ქარხანაში გამოყენებულია აირთა გაწმენდის ე. წ. „მშრალი მეთოდი“. ეს მეთოდი დაფუძნებულია ფტორიდების აბსორბციაზე აბაზანიდან ამოწოვილი აირის გატარების შედეგად ალუმინის ჟანგის ფენაში. მშრალი მეთოდი შესაძლებლობას იძლევა გაწმენდის პროცესი ნებისმიერი ტემპერატურის მქონე აირებზე ჩატაროთ.

ალუმინის რაფინირება

კრიოლიტ-თიხამიწის ლლობილის ელექტროლიზის დროს მინარევები გადადის ალუმინში, ამიტომ ყოველმხრივ ცდილობენ, რათა გამოსავალი მასალები კარგად იყოს გაუწყლოებული, არ შეიცავდეს კაუბადისა და რკინის ნაერთებს და სხვ.

სინესტის მოხვედრა, მაგალითად, იწვევს მავნე ფტორწყალბადის გამოყოფას:



კაემიწის კათოდური აღდგენის შედეგად კი ალუმინი ჭუჭყიანდება კაუბადით. შესაძლებელია აგრეთვე აქროლადი და მავნე SiF_4 -ის წარმოქმნა.

განსაკუთრებით საჭიროა ელექტროლიტის განთავისუფლება რკინის ნაერთებისაგან, ვინაიდან ალუმინი აღვილად აღადგენს მათ.

საელექტროლიზო აბაზანიდან ამოღებული ე. წ. პირველადი ალუ-

მინი, ნედლეულის ხარისხის შესაბამისად, 98,0—99,5% ალუმინის შეიცავს. მინარეკების სახით მასში შეიძლება იყოს წყალბადი, სილიციუმი, რკინა, სპილენძი და ნატრიუმი.

პირველადი ალუმინის გაშუალედებას ახდენენ სპეციალურ შემრევეში (მიქსერში). ამ დროს ვაკუუმირების შედეგად ლითონი თავისუფლდება წყალბადისაგან. მიქსერსა და ალუმინის სადნობ ელექტროლუმლებში გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური მორევა. თხევადი ალუმინის ცირკულაცია ხდება ტუმბოს მეშვეობით, დონის კონტროლი კი — რადიოიზოტოპური ხელსაწყოთი.

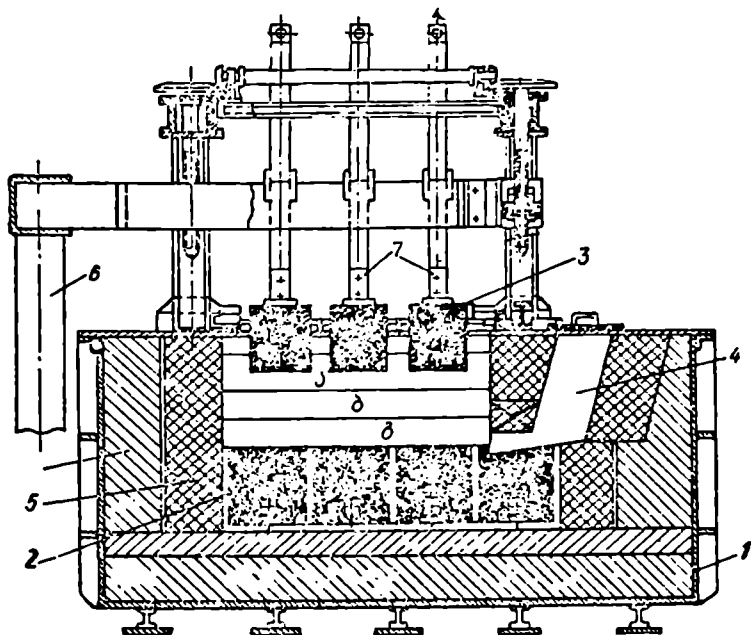
მიმართავენ აგრეთვე დაქლორვასაც. ამისათვის ქლორის ბალონზე მიერთებულ შლანგს უერთებენ კვარცის ან გრაფიტის მილს, რომელიც ჩაიშვება გამლღვალ ალუმინში. დაქლორვის შედეგად ალუმინის სცილდება ქიმიურად აქტიური ტუტე და ტუტემიწა ლითონები, რომლებიც ენერგიულად ურთიერთქმედებენ ქლორთან და ქლორიდების სახით ამოტივტივდებიან თხევადი ლითონის ზედაპირზე. ამავე დროს ხდება აირების მნიშვნელოვანი ნაწილის მოცილებაც. ქლორისა და AlF_3 -ის ორთქლის ბუშტულები ხელს უწყობენ აგრეთვე არალითონური ნაწილაკების გამოცალკეებასაც. წარმოქმნილ წიდას პერიოდულად აცილებენ. ოპერაცია 10—15 წუთს გრძელდება. ამის შემდეგ ამწით, მონორელსთან დაკავშირებული ტაფელით ან სხვა საშუალებით ალუმინით სავსე ციცხვი მიეწოდება ჩამოსხმელ მანქანას და ისხმება განუწყვეტლად მოძრავ კონვეიერზე დამაგრებულ თუჯის ფორმებში. კონვეიერის მეორე ბოლოზე გამყარებული ალუმინის შოთები ჩამოიყრება ფორმებიდან, მათი სპეციალურ საბჯენზე დაჯახების შედეგად.

უფრო მაღალი ხარისხის ალუმინის მისაღებად ქლორირების შემდეგ ლითონს გადაადნობენ დასახრელ ელექტროლუმელში და ჩამოსხამენ შოთებად. ალუმინის გადასადნობი ლუმლები აღჭურვილია დასახრელი მოწყობილობით და მათ აქვთ კრიკა, საიდანაც ლითონი ჩაისხმება ჩამოსასხმელ ელექტროლუმელში: აქ ხდება სხვადასხვა აბაზანიდან მიღებული ლითონის გაშუალედება. ჩამოსასხმელი მანქანის ფორმებში გაციებისას ლითონი მცირდება მოცულობაში, წარმოაქმნება ჩაზნექილობა, რომლის ამოსავსებად უმატებენ თხევად ლითონს.

უფრო სუფთა ლითონის მისაღებად ახდენენ მის ელექტრორაფინირებას. ზესუფთა ალუმინი კოროზიის მიმართ მეტად მდგრადია. გასუფთავების ხარისხის მიხედვით იზრდება მისი თბო- და ელექტროგამტარობა. ასეთი მაღალი სისუფთავის ალუმინი კარგად იგლინება და მისგან შესაძლებელია ძალზე თხელი ფურცლის (ფოლგის) მიღება.

თუმცა ზესუფთა ალუმინის მოხმარების მასშტაბი შედარებით მცირეა (1,0—0,5%), მისი მნიშვნელობა დიდია. ზესუფთა ალუმინისგან მზადდება კონდენსატორები და ქიმიური აპარატურა. განსაკუთრებით ზესუფთა ალუმინი (99,999%) გამოიყენება ელექტროტექნიკაში ფოლგის სახით, ელექტრონულ-სხივური მილებისა და რადიონათურების ტრანზისტორების, ნახევარგამტარების მრეწველობასა და ატომგულერ ტექნიკაში, კვების მრეწველობაში.

ალუმინის ელექტრორაფინირებას ახორციელებენ სამფენა ელექტროლიზერში. აბაზანაში სამი თხევადი ფენა გვაქვს.



სურ. 52. აბაზანა ალუმინის რაფინირებისათვის: ა) გასუფთავებული გალობილი ალუმინის ფენა, ბ) ელექტროლიტი, გ) გალობილი მინარევებიანი ალუმინის ფენა: 1. აბაზანის კორპუსი; 2. ნახშირის ბლოკები; 3. კათოდის ბლოკები; 4. ლითონის ჩასატვირთი ხვრელი; 5. გვერდის ამონაგი; 6 კათოდის დენმიმცვანი სალტი; 7. დენმიმცვანი ლერო; 8. ანოდის ბლოკი

ქვედა ფენა შედგება გასაწმენდი ალუმინისაგან, რომელსაც დამძიმების მიზნით დამატებული აქვს 35%-მდე სპილენძი. ეს ფენა ანო-

დის როლს ასრულებს. მისი სიმკვრივეა 3,5. შუა თხევადი ფენაა ელექტროლიტი (60% BaCl₂; 23% AlF₃ და 17% NaF). ამ ფენის სიმკვრივეა 2,7. ზედა თხევადი ფენა წარმოადგენს რაფინირებულ ალუმინს (სიმკვრივეა 2,31). დენმიმყვანად კათოდთან იხმარება გრაფიტირებული ნახშირის ბლოკები. აბაზანას (სურ. 52) აქვს ჯიბე. ტემპერატურა აბაზანაში 760—800°-ია. ლითონის ჩასხმა ჯიბეში ხდება მორვეით. რაფინირებული ლითონის ამოსაღებად ერთ გრაფიტირებულ კათოდის ბლოკს ამოიღებენ და მის ადგილას ჩადგამენ გრაფიტის ჭიქას, რომელსაც ძირზე ნასვრეტი აქვს. იმისდა მიხედვით, თუ რა სიღრმეზე ჩავძირავთ ამ ჭიქას ელექტროლიტის ან რაფინირებული ალუმინის ფენაში, იგი შეიძლება სათანადოდ გამოვიყენოთ ელექტროლიტის ჩამოსასხმელად ან ალუმინის ამოსაღებად.

ცხრილი 14

პირველადი ალუმინის თვითღირებულების კალკულაცია

დანახარჯების დასახელება	ჯანზომი- ლება	ხარჯეთი კოეფიციენტი	თვითღირე- ბულების %
1. ნედლეული და ძირითადი მასალები:			
თიხამიწა	ტ	1,920	45,0
კრიოლიტი		0,065	5,0
ალუმინფტორი		0,35	3,0
ანოდის მასა		0,600	7,0
2. დამხმარე მასალები:			
დენმიმყვანი მანქვალები		0,003	2,0
ალუმინის გარსაცმი ანოდისათვის		0,110	
3. ელექტროენერგია			
ტექნოლოგიური	კვტ-ს	17000	20,0
ძალოვანი	"	200	
4. ხელფასი	მან.	—	5,0
5. ამორტიზაცია და მიმდინარე რემონტი		—	8,0
6. საამქროს ხარჯები		—	2,5
7. საქარხნო ხარჯები	"	—	2,5
საქარხნო თვითღირებულება			100,0

აბაზანის ამონაგი შედგება მაგნეზიტის აგურისაგან, რაც გამორიცხავს დენის დანაკარგებს გვერდითი ამონაგიდან. თხევად ალუმინში ჩადგმული გრაფიტირებული ბლოკები, დაჟანგვისგან დაცვის მიზნით, წინასწარ არის ამოვლებული თხევად ალუმინში. რაფინირებისას ნატრიუმი, კალციუმი და მაგნიუმი გროვდება ელექტროლიტში. დენით გამოსავალი ალუმინისათვის 98%-ს აღწევს, დენის სიმკვრივე კათოდის ზედაპირზე არის 0,5 ა/სმ².

კათოდური ლითონის (რაფინირებული ალუმინის) ფენის სისქე უდრის 12—17 სმ-ს, ელექტროლიტისა — 12 სმ, ანოდური დასახალსებელი ლითონისა — 22—30 სმ-ს. აბაზანის სამსახურის ვადაა 5 წელი.

ერთ ტონა ალუმინზე იხარჯება:

ნედლი ალუმინი — 1,025 ტ; გრაფიტირებული ბლოკები — 19 კგ; სპილენძი — 13—14 კგ; BaCl₂ — 50 კგ; კრიოლიტი — 20 კგ; AlF₃ — 17 კგ და NaF — 5 კგ.

თანამედროვე აბაზანები ალუმინის რაფინირებისათვის გათვლილია 20 და 40 კა დენის ძალაზე.

თხევადი ალუმინის ფენაში ჩაშვებულ დენმიმყვან გრაფიტირებულ ბლოკებს ჩამაგრებული აქვთ თუჯის ღეროები. ეს ღეროები სოლით მაგრდება დენმიმყვან სალტებზე, რომლებიც აბაზანის კარკასზე დადგმულ კონსტრუქციას უკავშირდება. სპეციალური მექანიზმით შეიძლება ამ სალტის აწვევ-დაწვევა. დენის მიმყვანი ბლოკების რაოდენობა 8—12-მდეა. ჩატარებულია ცდა დენის მიყვანისა თხევადი ალუმინის ფენამდე გვერდიდან, ლარების საშუალებით. ამ ლარებში ნაწილი ალუმინისა თხევად და ნაწილი მყარ მდგომარეობაშია. ასეთი დენის მიყვანა ამცირებს ძაბვას აბაზანაზე და გამორიცხავს კათოდის ლითონის გაჭუჭყიანებას ნახშირბადით.

თხევადი ალუმინით დენის მიყვანა განხორციელებულია ლარებიან აბაზანაში (სურ. 53).

რაფინირებული ალუმინის თვითღირებულების (ცხრ. 15) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ნედლეულისა და ელექტროენერჯის ღირებულებაზე მოდის დანახარჯების 82,3%.

ელექტროლიზური რაფინირებისას გამოყენებული რკინის ინსტრუმენტს წინასწარ ამოვლებენ კრიოლიტში. თორმეტ დღეში ერთხელ კათოდურ ბლოკს ამოიღებენ და აბაზანას ასუფთავებენ ლამისაგან.

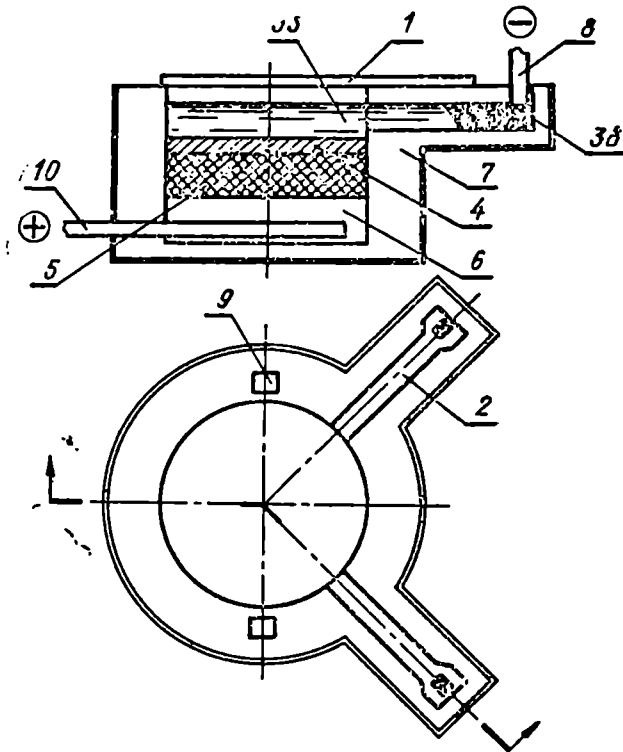
აბაზანაზე ძაბვა 6,0 ვ-ს აღწევს. ეს ძაბვა შემდეგი შემდგენლებით ჯამდება:

ანოდისაღმი დენმიმევეანი ნაწილი
 ანოდის კვანძი
 პოლარიზაციის სიმკვრივე
 ძაბვის ვარდნა ელექტროლიტში
 კათოდის კვანძი

0,102
 0,322
 0,360
 4,140
 0,997

ს უ ლ

6,099 გ



სურ. 53. დენის მოყვანა ალუმინის რაფინირების აბაზანაში: 1. სა-
 ხურავი; 2. არხი; 3ა. თხევადი რაფინირებული ალუმინი; 3ბ. გამ-
 ყარებული რაფინირებული ალუმინი; 4. ელექტროლიტი; 5. დასა-
 ხალისებელი ალუმინი; 6. ქედი; 7. ამონაგი; 8. კათოდთან დენის
 მიმევეანი სალტე; 9. ჩასატვირთი ზვრელი დასახალისებელი (მინა-
 რევებიანი) ალუმინისათვის; 10. ანოდთან დენის გამომევენი ძეღ.

ელექტრორაფინირებული ალუმინის თვითღირებულება

№	სტატია	%
1	ნღლეულის ფასი	66,3
2	დამხმარე მასალები	2,3
3	ელექტროენერგია	16,0
4	ხელფასი	3,8
5	სააქრო და საქარბნო ხარჯები	11,6
ს უ ლ .		100,0

რაფინირებული ალუმინის ღირებულება თითქმის ორჯერ მეტია არარაფინირებულ ელექტროლიზურ ალუმინთან შედარებით. თვითღირებულებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ელექტროენერგიის ფასს (ცხრ. 14 და 15).

საბჭოთა კავშირში სტანდარტი ითვალისწინებს რამდენიმე სახის ზესუფთა და ტექნიკური ალუმინის წარმოებას (ცხრ. 16). ტექნიკური ლითონის უკანასკნელი მარკა არანაკლებ 99%-ისა Al-ს შეიცავს.

თუ ალუმინში მინარევების შემცველობა 1%-ზე მეტია, ასეთი ალუმინი გამოიყენება ფოლადის განყანგვისათვის მეტალურგიაში და ლითონების (ქრომი, მანგანუმი და სხვ.) დასამზადებლად ალუმოთერმული წესით. იგი სხვა სტანდარტით (ГОСТ—295—65) მოწმდება.

საელექტროლიზო აბაზანებში რაფინირების გარეშე შეიძლება მივიღოთ ლითონი A—85, A—8, A—7, A—6 და AE.

ზესუფთა ლითონის მისაღებად ლითონს დამატებით ასუფთავებენ ელექტრორაფინირებით.

განსაკუთრებული სისუფთავის ალუმინის მიღება ხდება ზონური დნობით და სუბნაერთების დისტილაციით.

გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში მაღალი სისუფთავის (99,999%) ალუმინის მისაღებად გამოცდილია ელექტრორაფინირება ორგანული ელექტროლიტის გამოყენებით. უკანასკნელი შეიცავს $AlF_3 \cdot 2Al(C_2H_5)_3$ და ტოლუოლს (1:1). რაფინირებას აწარმოებენ 100°. კათოდური დენის სიმკვრივე არის 0,3ა/დმ², ძაბვა — 1,0—1,5 ვ. დენის გამოსავალი ახლოსაა 100%-თან. რაფინირების პროცესს ატარებენ აზოტის გარემოში. მუშა აბაზანა მოთავსებულია ზეთის თერმოსტატში. დენის სიმკვრივის გადიდებისას და ელექტროლიტის გაციეებისას ლითონი გამოიყოფა დენდრიტების სახით, რასაც შეიძლება მოყვეს მოკლე ჩართვა.

სახელმწიფო სტანდარტი პირველად ალუმინზე (ГОСТ 11069—74)

მარკის აღნიშვნა	Al, არანაკ- ლები	ქიმიურა შედგენილობა, %						ნიშანდება (ვერტიკალური ზოლები)
		მინარეები არა უშეტეს						
		რკინა	კადალი	ს ლენი	თუთა	ტიტანი	ს უნ	

ზესუფთა ალუმინი

A999	99.999	—	—	—	—	—	0,001	არა აქვს
------	--------	---	---	---	---	---	-------	----------

მაღალი სისუფთავის ალუმინი

A995	99.995	0,0015	0,0015	0,0010	0,001	0,001	0,005	4 მწუანე ზოლი
A99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,010	4 შავი ზოლი
A97	99,97	0,015	0,015	0,005	0,001	0,002	0,030	3 ყვითელი ზოლი
A95	99,95	0,030	0,030	0,010	0,005	0,002	0,050	3 მწუანე ზოლი

ტექნიკური სისუფთავის ალუმინი

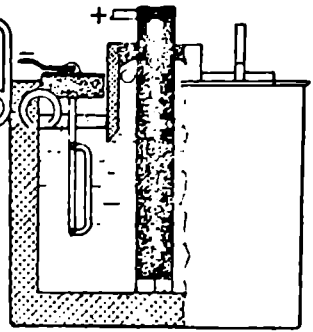
A85	99,85	0,08	0,06	0,01	0,02	0,01	0,15	2 თეთრი (და 1 ჰორიზ. მწე.) ზოლი
A8	99,80	0,12	0,10	0,01	0,04	0,02	0,20	2 თეთრი ზოლი
A7	99,70	0,16	0,16	0,01	0,05	0,02	0,30	2 ყვითელი ზოლი
A7E	99,70	0,20	0,08	0,01	0,04	0,03	0,30	2 ყვითელი (და 1 ჰორიზ. მწე.) ზოლი
A6	99,60	0,25	0,20	0,01	0,06	0,03*	0,40	2 ლურჯი ზოლი
A5	99,50	0,30	0,30	0,02	0,06	0,03	0,50	2 მწუანე ზოლი
A5E	99,50	0,35**	0,12	0,02	0,04	0,015*	0,50	2 მწუანე (და 1 ჰორიზ. მწე.) ზოლი
A0	99,00	0,50	0,50	0,02	0,08	0,03	1,00	2 შავი ზოლი

* Ti + V + Mn + Cr — საერთო რაოდენობა

** დასაშვებია რკინის მასური წილი არა ნაკლებ 0,18%-სა.

3	
Li	
6,939	
6,7	2s'
კვ = 0,534	
t _რ = 179°C	
t _ფ = 1317°C	
φ = -2,36 ₃	

ლითიუმი



ყველაზე უპერსპექტივო ლითონი. 1817 წელს შვედ-მა ქიმიკოსმა ი. არფვედსონმა ერთ-ერთი ალუმოსილიკატის (პეტალიტის) ანალიზის დროს შენიშნა, რომ ეს მინერალი 4%-მდე რომელიღაც უცნობ ელემენტსაც შეიცავდა, რომლის მეოხებით ხსნარი ტუტე თვისებებს იძენდა. ამ დროისათვის პ. დევის მიერ უკვე იყო აღმოჩენილი ორი ტუტე ლითონი—ნატრიუმი და კალიუმი. მკვლევარმა დაასკვნა, რომ სავარაუდო ელემენტიც მათი ანალოგი უნდა ყოფილიყო. ვინაიდან პეტალიტი უბრალო ქვას წარმოადგენდა, ამიტომ ცნობილი მეცნიერის ი. ბერცელიუსის წინადადებით (აღმოჩენა მის ლაბორატორიაში მოხდა) ახალ ელემენტს „ლითონი“ („ლითოს“ — ბერძნულად ქვა) ეწოდა.

მომდევნო წილს „ლითონებზე მონადირე“ პ. დევიმ⁹ თავის „ნადავლს“ ლითიუმიც მიუმატა— მიიღო იგი სუფთა სახით. ამ ელემენტს საინტერესო თვისებები აღმოაჩნდა. საკმარისია ითქვას, რომ იგი უმსუბუქესია არა მარტო ლითონებს შორის (კ. წ. 0,53), არამედ ჩვეულებრივ პირობებში მყარ მდგომარეობაში მყოფ ყველა ელემენტს შორისაც. იგი ნავთშიც კი ტივტივებს. წარმოიდგინეთ ლითონი, რომლისგანაც დამზადებული ავტომანქანა ორ კაცს შეუძლია თავისუფლად ასწიოს და გადააადგილოს! ასეთი სახარბიელო თვისება ლითიუმს თითქოს დიდ მომავალს უქადდა ტექნიკისათვის, მაგრამ მას არ აღმოაჩნდა საჭირო მექანიკური მახასიათებლები და კოროზიული მედეგობა. ამიტომ, მიუხედავად იმისა, რომ ლითიუმი ადვილად შეიღნობა

⁹ პ. დევის მიერ პირველად იყო მიღებული აგრეთვე მაგნიუმი, კალციუმი, ბარიუმი და ბორი.

თითქმის ყველა ლითონთან (რკინის გამოკლებით), მთელი საუკუნის მანძილზე მას ტექნიკისათვის სავსებით უპერსპექტივო ლითონად თვლიდნენ. მეორეს მხრივ, ლითიუმი როგორც ტუტე მეტალი, არც ქიმიური აქტივობით გამოირჩევა. თუმცა მისთვის ამ ჯგუფის ლითონების ყველა რეაქციაა დამახასიათებელი, მაგრამ გაცილებით ნაკლებ ინტენსივობით; იგი იმდენად „ზარმაცია“, რომ დაბალ ტემპერატურებზე უანგბადთანაც კი არ ურთიერთქმედებს.

დ. მენდელეევის ელემენტთა პერიოდულობის კანონიდან გამომდინარე, ეს გასაგები ხდება: როგორც ქვეჯგუფის დამწყები ელემენტი, ლითიუმი თავისი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით უფრო მომდევნო (მეორე) ქვეჯგუფის ელემენტს, მაგნიუმს ჩამოგავს: შედარებით სალია, მცირედ ქროლდება გახურებისას, ხოლო ზოგიერთი ნაერთი — კარბონატი და ფტორიდი წყალში ცუდად იხსნება. ლითიუმის ტუტე ნაკლებად ხსნადია, ვიდრე ნატრიუმისა და კალიუმის. ქლორიდი, მაგნიუმ-ქლორის ანალოგიურად, ძლიერ ჰიდროსკოპულია. ენერგიული ჰიდრატაციის გამო ეს ნაერთი, კონცენტრირებული მარილმჟავას დამატებით, ხსნარიდან არ გამომარილდება.

ლითიუმის ატომს მეტად მცირე რადიუსი აქვს (ორჯერ ნაკლები, ვიდრე რუბიდიუმისა და ცეზიუმისას). ეს განაპირობებს მისი კრისტალური გისოსის სიმტკიცეს, იონიზაციის მაღალ პოტენციალს, სისალეს, ლღობისა (179°) და დუღილის (1317°) შედარებით მაღალ ტემპერატურებს. ელექტროგამტარობა ხუთჯერ ნაკლები აქვს, ვიდრე ვერცხლს.

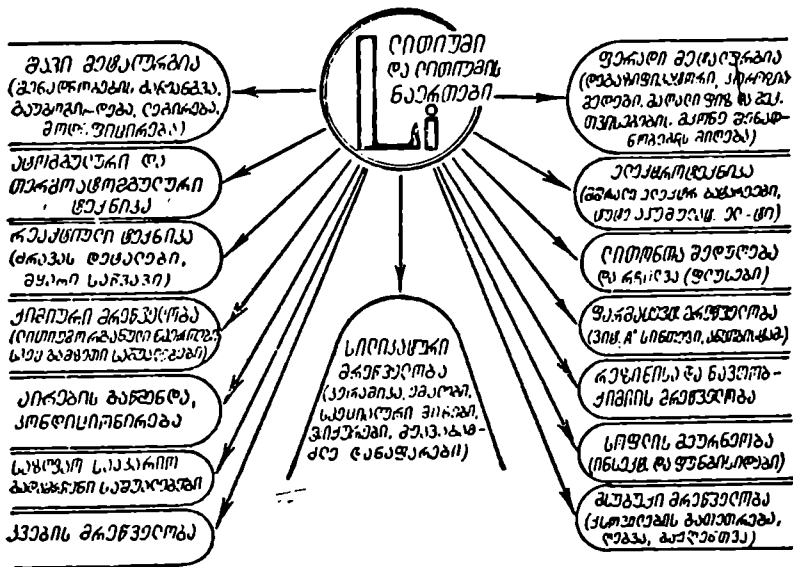
ლითიუმის იონი წყალხსნარში ძლიერ ჰიდრატაციას განიცდის; ეს საგრძნობლად ზრდის მის მოჩვენებით რადიუსს. იგი ძნელად მოძრავი ხდება; ამიტომ არის, რომ წყალხსნარებში ლითიუმი გამოყოფის ყველაზე უფრო მაღალი პოტენციალით ხასიათდება, ლღობილებში კი ეს სიდიდე გაცილებით ნაკლებია.

მტკიცე ნაერთებს კომპლექსურ ანიონებთან ლითიუმი არ წარმოქმნის, ორგანულ ნაერთებთან და მის ჰალოგენწარმოებულებთან კი ურთიერთქმედებს. საერთოდ მისი მარილები გახურებისას ნაკლებ მედეგობას ამჟღავნებენ.

ლითიუმის იონი უფერულია (სუბნაერთების გამოკლებით — ლღობილებს შავად ღებავს). ნაერთები ბუნუნენის ნათურის ალს წითლად ფერავენ, რის გამოც მათ ფართო გამოყენება პოვეს პიროტექნიკაში.

ლითიუმი თანამედროვე ტექნიკის სამსახურში. ლითიუმის ნაერთები პერიოდული სისტემის თითქმის ყველა ელემენტთან ჯერ კიდევ წარსულ საუკუნეში იყო მიღებული, მაგრამ მათი გამოყენება მხოლოდ ტექნიკის ახალი დარგების აღმოცენებამ განაპირობა.

ლითიუმი ხარბად შთანთქავს აირებს, განსაკუთრებით — ანგბადს, წყალბადსა და აზოტს. ეს თვისება პერსპექტიული გამოდგა მეტალურგიაში — ლითონებისა და მათი შენადნობების განქანგვისა და დეგაზაციისათვის, რაც მკვეთრად აუმჯობესებს მათ თვისებებს. სულ რაღაც 0,15% ლითიუმის დამატება, მაგალითად, საგრძნობლად ზრდის სპილენძის ელექტროგამტარობას, მიუხედავად იმისა, რომ ამ მახასიათებლის მნიშვნელობით ლითიუმი ოთხჯერ ჩამორჩება სპილენძს. ამგვარი, თითქოსდა, შეუსაბამობის მიზეზია ის, რომ ლითიუმს აქვს უნარი — შებოკოს და გამოაცალკევოს სპილენძში ჩაჩენილი მანეე მინარევეები, რომელთა მცირე რაოდენობაც კი მნიშვნელოვნად აუარესებს ლითონის თვისებებს. ამგვარადვე ხდება სხვა ფერადი ლითონების შენადნობების, აგრეთვე თუჩის, ფოლადისა და მონელ-ლითონის¹⁰ ლეგირება.



სურ. 54. ლითიუმისა და ლითონის ნაერთების გამოყენების სფეროები

ფართოდ გამოიყენება ფოლადისა და ფერად ლითონთა ნაკეობების თერმული დამუშავება ლითიუმის ორთქლის ძლიერ აღმდგენელ გარემოში; ეს გამოირიცხავს ნაკეთობის ზედაპირის დაქანგვას და ნახშირბადით გამდიდრებას ან გაღარიბებას.

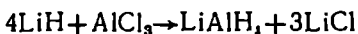
¹⁰ შენადნობი, რომელიც უშუალოდ სპილენძ-ნიკელის მდინიდან არის გამოდნობილი.

ქიმიური მრეწველობა ფართოდ იყენებს ლითიუმის სუფთა წვრილ-დისპერსიულ ფხვნილს, მაგალითად, იზოპრენის პოლიმერიზაციის პროცესისათვის. ლითიუმ-ორგანული ნაერთები, კერძოდ, ბუთილ-ლითიუმი საჭირო რეაგენტი აღმოჩნდა დივინილის წარმოებისათვის და სხვ.

პრაქტიკული გამოყენების ნაირგვარი სფერო დაესახა ლითიუმის არაორგანულ ნაერთებსაც. საკმაოდ ცნობილია, მაგალითად, ლითიუმის ტუტის დამატების კეთილსასურველი გავლენა ტუტე აკუმულატორის ელექტროლიტისადმი, რაც საკმაოდ ზრდის აკუმულატორის ტევადობას.

მეტალთა მარილმაგვარ ჰიდრიდებს შორის ყველაზე უფრო პტიკუ ნაერთად არის მიჩნეული ლითიუმის ჰიდრიდი LiH ; იგი საკმაოდ მსუბუქია (0,776), ხარბად რეაგირებს წყალთან სათანადო ტუტისა და წყალბადის წარმოქმნით. 2 კგ ჰიდრიდს იმდენივე წყალბადი შეუძლია მოგვცეს, რამდენიც ჩვეულებრივად ფოლადის 65 კგ-იან ბალონშია ჩაწნეხილი. ლითიუმჰიდრიდი არის წყალბადის საკმაოდ მოხერხებული და პორტატული წყარო არა მარტო აეროსტატებისა და გადამრჩენი საშუალებებისათვის (თვითმფრინავებისა და გემების ავარიების დროს ღია ზღვაში და სხვ.), არამედ ამ ძვირფასი აირის ენერგეტიკული მიზნებით გამოყენებისთვისაც, რასაც ამჟამად განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

ლითიუმჰიდრიდი რეაგირებს თითქმის ყველა ქლორიდთან და აღვილად წარმოშობს ორგანულ ნაერთებში ხსნად ორმაგ ჰიდრიდებს.



ლითიუმ-ალუმინის ჰიდრიდს ფართოდ იყენებენ ორგანულ სინთეზში, ანალიზურ ქიმიკაში და სხვ. აღდგენა ხდება რაოდენობრივად.

პრაქტიკული ინტერესის მქონეა ლითიუმბორჰიდრიდიც:



როგორც წყალბადის წყარო, ეს ნაერთი ორჯერ კიდევ უფრო ეფექტურია, ვიდრე თვით ლითიუმჰიდრიდი, რაც მისი რაკეტულ ძრავებში გამოყენების საინტერესო პერსპექტივებს სახავს (საწვავად).

არც ერთი ლითონი ისე ენერგიულად არ რეაგირებს აზოტთან, როგორც ლითიუმი. მიიღება მომწვანო ფერის ნიტრიდი Li_3N , რომელიც წყალთან ამიაკს იძლევა.

თხევადი ამიაკი ლითიუმს ხსნის ამიდის ($LiNH_2$) წარმოქმნით, რომელიც მნიშვნელოვანი შუალედური პროდუქტია ფარმაცევტულ წარმოებაში. კარბიდი Li_2C_2 ძლიერი აღმდგენელია. ლითიუმისა და

ვერცხლისწყლის იოდიდების ნარევი იძლევა მძიმე სითხეს, რაც მინერალების დასაყოფად გამოიყენება.

ლითიუმის ქლორიდი და ბრომიდი ადვილად შთანთქავს სინესტესა და ამინებს; მათი ეს თვისება ფართოდ არის გამოყენებული ჰაერის კონდიციონებისა და სხვა ტექნიკური მიზნებისათვის. კარბონატი და ნიტრატი მალაქეტიკური გამაქანველებს წარმოდგენენ რთული ტიპის მყარი რაქეტული სავაჟის მისაღებად.

მომავლის ყველაზე პერსპექტიული ლითონი მას შემდეგ, რაც აღამიანმა ატომგულის საიდუმლოების შეცნობისა და დაუფლებისაკენ იწყო გზების გაკაფვა, ლითიუმს, რომელიც მანამდე საკმაოდ მივიწყებული იყო, გამოყენების ახალი და საოცარი პერსპექტივები დაესახა. იგი აღმოჩნდა პირველი ელემენტი, რომლის მეშვეობითაც დადგინდა ატომ-ს მძლავრი ენერჯის გამოყენების შესაძლებლობა.

ჯერ კიდევ 1931 წელს, ლითიუმის ფირფიტის ნეიტრონებით დასეტყვის შედეგად სამიზნედან გამოტყორცნილი α -ნაწილაკების სიჩქარის გაზომვამ აჩვენა მათი უდიდესი ენერჯია. ეს ენერჯია ლითიუმის მასის შემცირების ეკვივალენტური აღმოჩნდა. ამ ცდამ უაღრესად დიდი გამოხმაურება პოვა, ვინაიდან პრაქტიკულად დაადანტურა ა. ეინშტეინის მიერ 1905 წელს აღმოჩენილი კლასიკური ტოლობის სამართლიანობა მასისა და ენერჯის ურთიერთკავშირისა და ეკვივალენტობის შესახებ. აღამიანი თვალნათლივ დარწმუნდა, რა წარმოუდგენლად დიდი ენერჯის მიღების შესაძლებლობას ფარავს ატომგული!

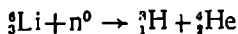
მოგვიანებით ლითიუმმა მიიპყრო ყურადღება როგორც ატომგულური რეაქტორიდან სითბოს ამრთმევმა აგენტმა. დანარჩენ მასალებთან შედარებით (წყალი, ნატრიუმისა და კალიუმის შენადნობები ან სხვა გამლვეალი ლითონები), ლითიუმს ამ მხრივ მნიშვნელოვანი უპირატესობა აღმოაჩნდა — სიმსუბუქე, მეტი კუთრი თბოტევადობა, ნაკლები სიბლანტე, ორთქლის წარმოქმნის მალალი უნარიანობა. რაც მთავარია, იგი გამოირჩევა თხევადი მდგომარეობის ფართო ტემპერატურული დიაპაზონით (180-დან 1317°-მდე). ამ საქმისათვის სწორედ ის იზოტოპი (${}^6\text{Li}$) აღმოჩნდა გამოსადეგი, რომელიც ბუნებრივ ლითიუმში მომეტებული რაოდენობითაა (92,58%) და ნეიტრონების შთანთქმის მცირე განიკვეთით ხასიათდება.

ამავე იზოტოპის ფტორიდი გამოყენებულია როგორც ურანისა და თორიუმის ნაერთების კარგი გამხსნელი.

რაც შეეხება ლითიუმის მეორე (მსუბუქე) იზოტოპს (${}^7\text{Li}$), იგი განიხილება როგორც აღამიანის სანუკვარი ოცნების — მართვადი თერმოატომგულური რეაქციის განხორციელების მთავარი შესაძლებელი წყარო.

ცნობილია, რომ წყალბადის მძიმე იზოტოპების — დეიტერიუმისა და ტრიტიუმის ურთიერთშერწყმის შედეგად გაცილებით მეტა ენერგია გამოთავისუფლდება, ვიდრე ურანი-235-ის ატომგულის გახლეჩა ვეაძლევს. მაგრამ თერმოატომგულური რეაქციის განხორციელებას ჯერჯერობით გადაუღახავ ზღუდედ ეღობება ზემალალი (50 მლნ გრადუსის ფარგლებში) ტემპერატურების ხანგრძლივად შენარჩუნების სიძნელე. საქმეს ართულებს ისიც, რომ ჩვეულებრივ პირობებში წყალბადის იზოტოპები აირად მდგომარეობაში იმყოფებიან. ეს ამცირებს მათი ურთიერთშეხლისა და, მაშასადამე — რეაქციის ინტენსიურად მიმდინარეობის ალბათობას. საჭიროა მორეაგირე კომპონენტები თხევად მდგომარეობაში მიანიც გვექონდეს, რაც წყალბადის შემთხვევაში მხოლოდ აბსოლუტური ნულის ახლო ტემპერატურაზე არის შესაძლებელი.

ბევრი ძიების შემდეგ გამოინახა დეიტერიუმის შემცველი სპვა მყარი ნივთიერება. ასეთი აღმოჩნდა ლითიუმის მსუბუქი იზოტოპის დეიტერიდი — LiD. ეს ნაერთი უაღრესად მნიშვნელოვანია იმ მხრივაც, რომ თვით ლითიუმი-6 წარმოადგენს ზემძიმე წყალბადს — ტრიტიუმის მიღების პოტენციურად შესაძლებელ წყაროს:



ნეიტრონებით დასხივება ურანის ჩვეულებრივ „ქვაბებში“ ხდება ტრიტიუმისა და ჰელიუმის შემდგომი დაყოფით.

რეაქციის მსვლელობას ხელს უწყობს ის გარემოება, რომ, ლითიუმი-6, ლითიუმი-7-გან განსხვავებით, ხარბად შთანთქავს ნეიტრონებს (განივკვეთი შესაბამისად არის 912 და 0,033 ბარნი).

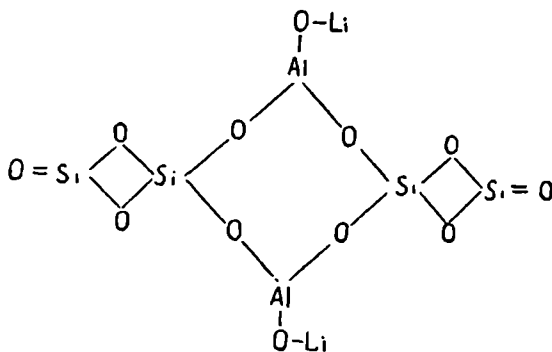
ამგვარად მოსალოდნელია, რომ ეს ერთ ღროს სავსებით უპერსპექტივოდ მიჩნეული ლითონი ახლო მომავალში თანამედროვე ტექნიკის უმნიშვნელოვანეს მასალად შეიძლება გადაიქცეს.

მსუბუქი ატომგულების სინთეზით „ხელოვნური მზის“ შექმნის პრობლემაზე მსოფლიოში ამჟამად ათასობით მეცნიერი მუშაობს. ვარაუდობენ, რომ იაფი ენერგიის მწარმოებელი მძლავრი რეაქტორის შექმნას ადამიანი ალბათ საუკუნის ბოლოს შესძლებს.

სწორედ ამან გამოიწვია ერთ ღროს ამერიკის შეერთებულ შტატებში ლითიუმის „ციებ-ცხელება“: მკვეთრად გაიზარდა მისი მადნების მოპოვება, ხოლო კონცენტრატები სტრატეგიულ ნედლეულად გამოცხადდა და სასტიკად აიკრძალა მათი ექსპორტი. ლითიუმის შემსწავლელი ცალკე ინსტიტუტიც კი დაარსდა. ამ ლითონისადმი ინტერესის გაძლიერებას იმანაც შეუწყო ხელი, რომ იგი გაცილებით იაფი და ხელმისაწვდომია, ვიდრე ურანი ან თორიუმი.

მადნები და მათი მოპოვება. ლითიუმი საკმაოდ გავრცელებული ელემენტია. მისი კლარკი ოთხჯერ სჭარბობს ტყვიისას, მაგრამ სამრეწველო მნიშვნელობის კონცენტრირებულ მადნებს იგი არ წარმოქმნის. ბუნებაში გაბნეულობის გამო მას ადრე იშვიათი ლითონების ჯგუფსაც კი აკუთვნებდნენ. იგი 150-მდე მინერალშია მიღებული. მათ შორის 30-მდე უშუალოდ ლითიუმის მინერალად ითვლება, თუმცა ლითონის შემცველობა მათში მცირეა. ზოლო წლებში ისეთი მადნების დამუშავებაც კი დაიწყეს, რომლებშიც ლითიუმის უანგის რაოდენობა 1%-ს არ აღემატება.

ლითიუმის კონცენტრატების მისაღებ ნედლეულად ითვლება ალუმოსილიკატის ტიპის მინერალები — სპოდუმენი $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ (აშშ, აფრიკა, კანადა, ჩვენთან — ზაბაიკალიე) და ლეპიდოლიტი ანუ ლითიუმის ქარსი — $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2(\text{F}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (გერმანია). იგი 2%-მდე რუბიდიუმისა და ცეზიუმის უანგსაც შეიცავს. აღსანიშნავია აგრეთვე პეტალიტი — $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$, ამბლიგონიტი — $\text{LiAl}[\text{PO}_4] \cdot (\text{F}, \text{OH})$ და ცინვალდიტი — $\text{KLi}(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Al}[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{F}, \text{OH})_3$.



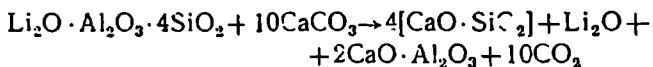
სურ. 55. სპოდუმენის აღნაგობა (ვ. ვერნადსკის მიხედვით)

ნატრიუმთან და კალიუმთან ერთად ლითიუმი არის ზოგიერთ ტბებში (აშშ, სსრკ), ხოლო მცირე რაოდენობით მოიპოვება მინერალურ წყლებსა (ვიში, საფრანგეთი) და ზღვებში (7 $10^{-6}\%$).

ლითიუმის მადნების, კერძოდ, სპოდუმენის მოპოვების ნახევარი (250 კტ/წლ.) ამერიკის შეერთებულ შტატებზე მოდის, რომლის მოთხოვნილება ამ პროდუქტზე სავარაუდოდ ორჯერ მეტიც კი შეიძლება იყოს. ლითიუმის პროდუქტების 80% იქ სამხედრო უწყებებს მიაქვთ,

დანარჩენი კი ძირითადად გამოზეთ საშუალებათა¹¹ დამზადების საქმეს, აგრეთვე კერამიკულ წარმოებას და საფეიქრო მრეწველობას ხმარდება.

სპოდუმენის გადამუშავების პირველ საფეხურს წარმოადგენს თერმული გამდიდრება, ე. წ. დეკრიტიცია. ეს მეთოდი ლითიუმის შემცველი მინერალის იმ საინტერესო თვისებას ემყარება, რომ 1000°-მდე გახურებისას იგი იცვლის მოდიფიკაციას და მკვეთრად მატულობს მოცულობაში, რის გამოც სკდება, მტვრად იქცევა და საპაერო სებაციით ადვილად გამოცალკევდება ფუჭი ქანისაგან. მიღებულ კონცენტრატს 200—300°-ზე შეაცხოვენ კონცენტრირებულ გოგარდმკვასთან. ლითიუმი სულფატის სახით გადადის ხსნარში. ხსნარს წმენდენ მინარეებისაგან, რის შემდეგაც გამოლექავენ Li_2CO_3 -ს, რომელიც სხვა ნაერთების მისაღებ გამოსავალ ნედლეულად გამოიყენება. დამუშავებულია ლითიუმის კონცენტრატის კირთან შეცხოვის მეთოდიც. შეცხოვა ხდება მბრუნავ ლუმელში 1000—1200°ზე:



დაფქვისა და 100°-ზე გამოტუტვის შედეგად ლითიუმის ქანგი ხსნარში გადადის, საიდანაც მას ლექავენ კარბონატის სახით ან ამოიღებენ იონური გაცვლის მეთოდით.

ელექტროლიზი. ლითიუმის ტუტის ელექტროლიზი არ ხერხდება მისი ღვობის მაღალი ტემპერატურისა და გამოყოფილი ლითონის ელექტროლიტში ხსნადობის გამო; უფრო რეალურია ამ მიზნით სუფთა ლითიუმქლორის გამოყენება, მაგრამ მისი მაღალი ჰიჯროსკოპულობა ტექნოლოგიურ პროცესს მეტად ართულებს. მიუხედავად ამისა, წარსული საუკუნის 50-იან წლებში ლითონს სწორედ ამ გზით იღებდნენ.

ბოლო ათეულ წლებში ლითიუმის გამოლექვა ნაცადი იყო როგორც ტყვიის თხევად კათოდზე, ისე არაწყალხსნართა ელექტროლიზით — პირიდინში, აცეტონში ან ნიტრობენზოლისა და ალუმინქლორის ნარევიში გახსნილი ლითიუმქლორიდან. მაგრამ ვერც ამ მეთოდებმა პოვეს გავრცელება გარკვეულ ტექნიკურ და ტექნოლოგიურ გართულებათა მიზეზით.

შესაძლებლად არის მიჩნეული ქლორიდისა და ბრომიდის ნაზავის ელექტროლიზი, მაგრამ ლითიუმბრომის სიძვირე გამორიცხავს მის პრაქტიკულ გამოყენებას.

¹¹ ლითიუმის სტეარატის ნარევი სიღვინის ზეთსა და დიეთერებთან საუცხოო გამოზეთი საშუალებაა ნაირგვარ მეტეოროლოგიურ პირობებში (—60-დან +120°-მდე) მომუშავე თვითმფრინავებისა და ტრანსპორტის სხვა თანამედროვე საშუალებათა საბასუხისმგებლო მექანიზმებისათვის.

ჰიგროსკოპულობის შესამცირებლად თანამედროვე აბაზანებში ლითიუმქლორის ემატება კალიუმქლორი ($60 : 40$). მიუხედავად იმისა, რომ ორივე კათიონის გამოყოფის პოტენციალი თითქმის თანაბდენილია, კალიუმის შეცულობა კათოდურ ლითონში $0,5—2,5\%$ -ს არ აღემატება. ამ საკვარველი მოვლენის მიზეზი ის არის, რომ კალიუმი უხსნადია ლითიუმში — იგი ცალკე ფაზას წარმოქმნის და, როგორც ძლიერ აქტიური ლითონი, ადვილად იჟანგება (იხსნება ლლობილში).

ძირითადი პროდუქტის — კათოდზე გამოყოფილი ლითიუმის დანაკარგების შემცირების მიზნით, რაც მისი ლლობილში ხსნადობით არის გაპირობებული, ელექტროლიზს შედარებით დაბალ ($40^{\circ}—45^{\circ}$) ტემპერატურაზე ატარებენ მარილნარევის ევტექტიკის ფარგლებში.

ერთ-ერთი აშერიკული 8600-ამპერიანი აბაზანა წარმოადგენს $1,2 \times 1,8 \times 1,0$ მ ზომის რკინის ვარცლს, რომელიც გარედან ცეცხლგამძლე აგურის წყობითაა იზოლირებული, შიგნიდან კი ნახშირის ბლოკებით არის ამოვსებული. კათოდები ფოლადისაა. ძაბვა მომჭერებზე არის 6,3 ვ. დენით გამოსავალი თეორიულს უახლოვდება (99%). ასეთი აბაზანა 12 ტონამდე ლითიუმს იძლევა ყოველწლიურად.

წარმატებით გამოიყენება მაგნიუმის ელექტროლიზერის ტიპის თაღკით ამოვსებული აბაზანებიც. ანოდური და კათოდური არეები მასში დიაფრაგმით არის გამოყოფილი. დენის ძალა მხოლოდ 800 ამპერს აღწევს, დენის სიმკვრივე კათოდზე კი საკმაოდ მაღალია (2 ა/სმ²). პროცესს 440° -ზე ატარებენ.

სპეციალური ლიგატურებისათვის უფრო მოსახერხებელი აღმოჩნდა ლითიუმის შენადნობების მიღება როგორც მძიმე (სპილენძი, რკინა, ნიკელი, თუთია, ტყვია), ისე მსუბუქ (ნატრიუმი, მაგნიუმი, კალციუმი, ალუმინი) ლითონებთან. მათი გამოხდით შესაძლებელია სუფთა ლითიუმის მიღება.

ლითიუმ-კალციუმის ლიგატურა, რომელიც ამ ლითონთა ქლორიდების ელექტროლიზით მიიღება, სპილენძის განჯანგვისა და ოუჯის მოდიფიცირებისათვის არის გამოყენებული.

ტექნიკური ხასიათის სიძნელეთა გამო, რაც ძირითადად უწყლო ლითიუმქლორის მიღებასა და საბოლოო პროდუქტის სხვა კომპონენტებით გაჭუჭყიანებასთან არის დაკავშირებული, ნაცადი იყო სუფთა ლითიუმის მიღების სხვა იოლი გზებიც. ასეთია ლითონთერმული ხერხი — ლითიუმის ტუტის აღდგენა მაგნიუმით ან კალციუმით. სილიკო-ალუმინით ან კაჟბადით აღდგენა $85—90\%$ ლითიუმის შემცველ პროდუქტს გვაძლევს.

ლითიუმის რაფინირება. ელექტროლიზით ან სხვა ხერხით მიღებული ლითონი მინარევებს შეიცავს და საჭიროებს გაწმენდას.

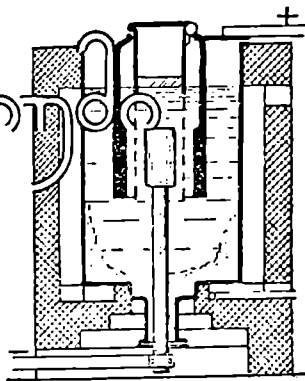
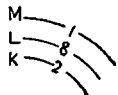
მექანიკურ ჩანართებს რკინის ტიგელში გადადნობით ან ლითონის წვრილ ბადეში გაფილტვრით აცილებენ. პროცესი ინერტულ გარემოში ან პარაფინისა და ზეთის დამცველი ფენის ქვეშ მიმდინარეობს. ტუტე ლითონებისაგან განთავისუფლება ვაკუუმში გამოხდით ან წილადი კონდენსაციით არის შესაძლებელი. ყველაზე ძნელი აღმოჩნდა მაგნიუმისა და სტრონციუმის გაცალკეება.

ლითიუმი შეიძლება შეიცავდეს აირებსაც — აზოტსა და ჟანგბადს. მათგან განთავისუფლება ხდება ღრუბლოვანი ტიტანის, ურანის ან ცირკონიუმის დახმარებით, რომლებიც ხარბად შთანთქავენ ამ აირებს, ლითიუმში კი პრაქტიკულად უხსნადი არიან.

მოხმარების გასაადვილებლად ლითიუმის ღეროს ალუმინის ან სპილენძის მილაკში ჩაწნეხავენ. ასეთი მილაკის მოჭრის დროს მისი ჰერმეტიულობა არ ირღვევა და ლითიუმის კოროზიაც არ ხდება.

II	
Na	
23,9898	
23	2s'
$\chi = 0,97$ $t_r = 97,9^\circ\text{C}$ $t_e = 883^\circ\text{C}$ $\varphi = -2,373$	

ნატრიუმი



ტუტე ლითონებიდან ყველაზე დიდი ტექნიკური გამოყენება ნატრიუმს აქვს. იგი ქიმიური მრეწველობის ერთ-ერთ ძირითად პროდუქტად ითვლება. აშშ, მაგალითად, 150 ათას ტონაზე მეტ ნატრიუმს ხარჯავს ყოველწლიურად (აქედან თითქმის 85% ანტიდეტონატორების — ტეტრაეთილ- და ტეტრამეთილტყვიის გამომუშავებას ხმარდება). მოთხოვნილება მასზე კი გაცილებით მეტია.

ეს მოთეთრო-ვერცხლისფერი, მსუბუქი და რბილი ლითონი დიდი ქიმიური აქტივობით გამოირჩევა. ადვილად იყნაგება ჰაერზე, მიიღება ჟანგი, რომელიც შემდეგ, სინესტის მეშვეობით, ტუტედ იქცევა და, ვინაიდან ეს უქანასკნელი ხარბად შთანთქავს ნახშირორჟანგს, საბოლოოდ ვიღებთ სოდას. ამიტომ ლითონურ ნატრიუმს ნაფთში ინახავენ.

ბუნებაში ნატრიუმი მისი მარილების — ქლორიდის, კარბონატის, სულფატის (მირაბილიტი, ტენარდისი), ბორატისა და ნიტრატის (ჩილის გვარჯილის) — სახით მოიპოვება.

ნატრიუმის ნაერთები ბენზინის ნათურის აღს ყვეთლად ფერავს, რაც აღმომჩენ კლასიკურ რეაქციად ითვლება.

ადვილლობად ლითონებთან (ვერცხლისწყალი, ტყვია, თუთია, კალიუმი) იგი შეილლობა, ხოლო რკინასთან, სპილენძთან, ალუმინთან და ნიკელთან არა.

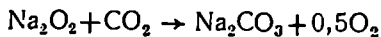
ლითონური ნატრიუმიც პირველად ჰ. დევიმ მიიღო (1807) გამლღვალაი ტუტის ელექტროლიზით. ამიტომ ეწოდება მას ინგლისურად „სოდრიუმ“, „ნატრონ“ კი არაბულად ნიშნავს სოდას, ტუტეს.

მ. ფარადეი ცდილობდა გამლღვალაი სუფრის მარილის ელექტროლიზის განხორციელებას (1833), მაგრამ ამაოდ. 1890-იან წლებამდე

ნატრიუმის წარმოება ფრანგი მეცნიერისა და მრეწველის სენ-კლერ-დევილის მეთოდს ეყრდნობა — ნატრიუმის გამლვალ მარილების აღდგენას ნახშირბადით, მიღებული ლითონის შემდგომი გამოხდით. ქარხნის წარმადობა 5—6 ტონას აღწევდა წლიურად.

გამოყენება. ლითონური ნატრიუმი, რომელიც ელექტროქიმიური მეთოდის წყალობით გახდა ხელმისაწვდომი, მრავალმხრივ ტექნიკურ გამოყენებას პოულობს არა მარტო ქიმიურ ტექნოლოგიაში, არამედ ფარმაცევტულ, პლასტმასებისა და ნავთობგადამამუშავებელ მრეწველობაში. მთავარი მათ შორის არის შემდეგი:

1. სუფთა რეაქტივებისა და ტექნიკურად ისეთი მნიშვნელოვანი პროდუქტების დამზადება, როგორც ნატრიუმის ზეჟანგია — Na_2O_2 . იგი არის ენგბადის წყარო და სუნთქვის შედეგად გამოყოფილი ნახშირორჟანგის შთამნქმელი საშუალება დახურულ სათავსოებში (წყალქვეშა ნავებზე და სხვ.) მუშაობისას:



ნატრიუმის ზეჟანგი წარმოადგენს გამოსავალ ნივთიერებას სხვა ზეჟანგების მისაღებად. იგი იხმარება როგორც მათეთრებელი აბრეშუმისა და მატყლისათვის, ნატრიუმის ამიდის — NaNH_2 -ის დასამზადებლად (ხელოვნური ინდიგოს სინთეზისათვის), NaCN -ის მისაღებად, რომელიც თავის მხრივ ფართოდ გამოიყენება გალვანური აბაზანებისათვის, გემების სათავსოების, აგრეთვე ფორთოხლისა და სხვა კულტურების ბაღების დეზინფექციისათვის, ავტომობილის ლილვების საწრთობად, ოქროს ამოსაღებად პ. ბაგრატიონის მეთოდით და სხვ.

2. ტიტანის, ცირკონიუმის, ტანტალის, ნიობიუმისა და სხვა ლითონების აღდგენა მათი ჰალოგენნაერთებიდან. ტიტანის მიღების ნატრიუმთერმული ხერხი ფართოდ არის დანერგილი აშშ და ინგლისში.

3. ანტიფრიქციული და სამმაგი შენადნობების დამზადება. ნატრიუმ-კალიუმ-ტყვიის სამმაგი შენადნობი, როგორც ცნობილია, დიდი რაოდენობით (350 ათას ტონაზე მეტი ყოველწლიურად) გამოიყენება ტეტრაეთილტყვიის მისაღებად (ანტიდეტონატორი ბენზინისათვის).

4. მაღალმოლეკულური ორგანული ნაერთების პოლიმერიზაცია, საღებავების წარმოება, გამრეცხი საშუალებების (დეტერგენტების) მიღება, სინთეზური კაუჩუკის წარმოება (განმქანგველი), ორგანული ნაერთების გაუწყლოება.

5. ფოლადის განქანგვა, სილუმინის მოდიფიცირება.

6. ნატრიუმი, როგორც ადვილლობადი ლითონი, ნავარაუდევია სითბოს წამრთმევ ავენტად ატომგულურ რეაქტორებში.

ნატრიუმის მიღება ტუტის ელექტროლიზით. ნატრიუმის მიღების პირველი სამრეწველო ხერხი ინგლისელი კესტნერის მიერ იყო შემუშავებული და უკვე წარსული საუკუნის 90-იან წლებში ფართოდ გავრცელდა. მეთოდი გულისხმობს გამლვალ ნატრიუმის ტუტის ელექტროლიზს. კესტნერის აპარატურის თავდაპირველი კონსტრუქცია და პროცესის განმსაზღვრელი პირობები ახლაც თითქმის უცვლელია, მიუხედავად ამ მიმართულებით ჩატარებული მრავალწლიანი კვლევებისა.

ჩვენში ლითონური ნატრიუმის მიღების ცდები განსაკუთრებით გაფართოვდა დიდი სამამულო ომის შემდეგ.

პროცესი ხორციელდება რკინის მრგვალ ან ოთხკუთხა ტიგელში, რომელიც თავის მხრივ აგურის წყობაშია ჩადგმული (იხ. ნახ. სათაურში, გვ. 123).

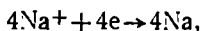
ელექტროლიტი გამლვალ მდგომარეობაშია გარედან მიყვანილი სითბოს მეშვეობით (ბუნებრივი აირის წვის ხარჯზე).

ქვაბის ქვედა ნაწილი შევიწროებულია და მასში გადის ბრინჯაოს, რკინის ან ნიკელის ლერო — კათოდი, რომელიც მყარი მარილის ფენით არის იზოლირებული რკინის გარსაცმისაგან. კათოდის ზევით უფრო დიდი დიამეტრის რკინის ცილინდრია მოთავსებული, რომლის გაგრძელებას ნიკელის ბადე წარმოადგენს. ეს უქანასკნელი ანოდურ არეს გამოყოფს კათოდურისაგან.

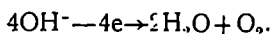
რაც შეეხება ანოდს, ისიც ნიკელისაა და კონცენტრიულად ერტუმის გარს ბადე-ტიხარს.

ელექტროლიზის შედეგად მიღებული ლითონი ამოტივტივდება ზევით და გროვდება რკინის ცილინდრის შიგნით, საიდანაც მისი ამოღება ნასვრეტებიანი კოვზის მეშვეობით ხდება.

ელექტროლიზის მექანიზმი. მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით ნატრიუმის ტუტე დისოცირდება ნატრიუმისა და ჰიდროქსიდის იონებად. პირველნი განიმუხტებიან კათოდზე:

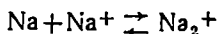


ანოდზე კი ხდება ჰიდროქსილიონების დაჟანგვა:

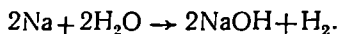


თუმცა წარმოქმნილი წყალი საკმაოდ ორთქლდება მაღალ ტემპერატურაზე, მაგრამ ნაწილობრივ მაინც რჩება ელექტროლიტში.

ლითონური ნატრიუმი გამლვალ ტუტესთან დაბალი ვალენტობის მქონე იონს იძლევა:



მასთან ურთიერთქმედებს ანოდზე წარმოქმნილი წყალი და იწვევს მის ხელახლად დაეანგვას:



სწორედ ეს პროცესი არის ძირითადი წყარო ნატრიუმის დანაკარგისა. კათოდური პროდუქტის დანაკარგს იწვევს აგრეთვე ნატრიუმის ჰიდრიდის წარმოქმნა:



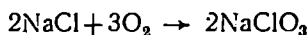
გარდა ამისა, ნატრიუმის ქანგი ილექება აბაზანის ფსკერზე, რაც კიდევ უფრო ართულებს პროცესს.

ყოველივე ზემოხსენებულის გამო, დენით გამოსავალი თითქოს არ შეიძლება 50%-ს აღემატებოდეს. მაგრამ ანოდისა და კათოდის არეების კარგი იზოლაციისა და პროცესის ოპტიმალური რეჟიმის დაცვის შედეგად, დენით გამოსავალი პრაქტიკულად გაცილებით მაღალია — 70%-მდე. გამოყოფილი წყალბადი, მგრგვინავი აირის წარმოქმნის საშიშროების თავიდან აცილების მიზნით, პატარა მილით გამოიყვანება გარეთ და იწვის.

ჯერ კიდევ კესტნერის მიერ იყო დადგენილი, რომ ელექტროლიზის მიმდინარეობისათვის უმჯობესია ტემპერატურა 310—330°-ის ფარგლებში. თვით ტუტე ღვებდა 300°-ზე. უფრო მაღალ ტემპერატურაზე იზრდება დანაკარგები ნატრიუმის ხსნადობისა და დიფუზიის უნარის გაზრდის, აგრეთვე არასასურველი მეორადი რეაქციების გამო.

18%-მდე ნატრიუმკარბონატის დამატება ელექტროლიტისადმი, მართალია, კეთილსასურველ გავლენას ახდენს პროცესზე — დაბლა სწევს ღვების ტემპერატურას, ზრდის დენით გამოსავალს და სხვ., მაგრამ პრაქტიკაში სოდის დამატებას არ მიმართავენ, ვინაიდან მისი რაოდენობა უამისოდაც საკმარის მატულობს ელექტროლიტში — გამლღვალე ტუტის მიერ ჰაერიდან ნახშირორჟანგის ხარბად შთანთქმის შედეგად.

რაც შეეხება ნატრიუმქლორს, მისი დამატება უარყოფითად მოქმედებს დენით გამოსავალზე, ვინაიდან წარმოიქმნება ნატრიუმქლორატი:

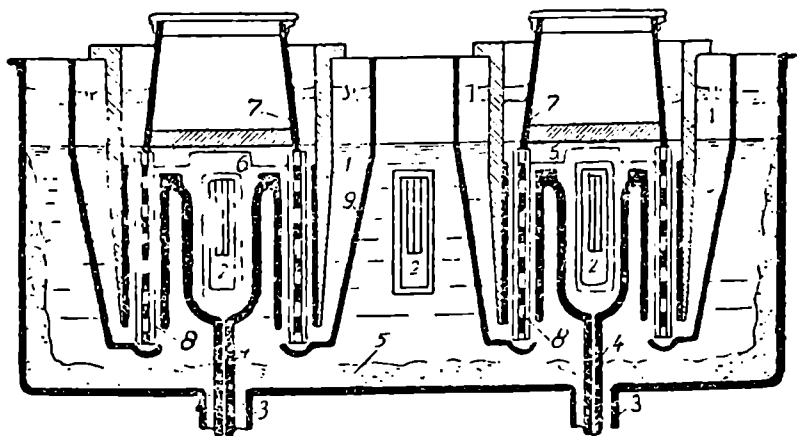


ეს უკანასკნელი ადვილად ქანგავს ლითონურ ნატრიუმს, რითაც ზრდის მის დანაკარგს.

ნატრიუმისა და კალიუმის ტუტე თუმცა უსასრულოდ იხსნება ერთმანეთში და დაბალი ღვების ტემპერატურის მქონე ევტექტიკა-

საც წარმოქმნის (188°), მაგრამ ასეთი ნაზავის ელექტროლიზი, სუფთა ნატრიუმის ნაცვლად, ამ ორი ლითონის შენადნობს გვაძლევს. ეს შენადნობი თხევადია ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე და ჯერჯერობით პრაქტიკული გამოყენება ვერ პოვა.

ზემოხსენებული გართულებების გამო, კესტნერის სამრეწველო დანადგარები შედარებით მცირე, 1000—1250 ამპ. სიმძლავრისაა. მხოლოდ ბოლო წლებში დაიწყო 4000 ამპ. და უფრო მძლავრი აბაზანების აგება. ასეთი აბაზანა წარმოადგენს ფოლადის გარსაცმში ჩასმულ



სურ. 56. ნატრიუმის ტუტის საელექტროლიზო აბაზანა (4200 ა) პაციერით: 1 — ნიკელის ანოდები; 2 — მაიკარი მილები; 3 — კათოდის დამკერები; 4 — სპილენძის სალტები; 5 — იზოლაცია (მყარი ტუტი); 6 — „სეარცხელა“ კათოდები, 7 — ნატრიუმის შემკრები; 8 — ფოლადის ან ნიკელის ბაღე; 9 — ანოდის კამერა („ჩიბე“)

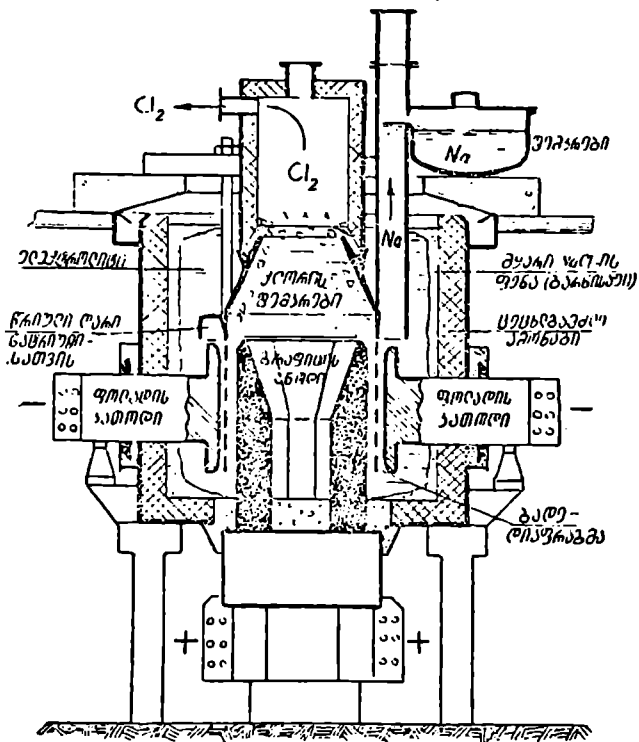
რამდენიმე პარალელურად შეერთებულ უჯრედს, რომლებიც პაერით ცივდება. კათოდური დენის სიმკვრივე აქ საკმაოდ მაღალია — 1,3—2,0 ა/სმ². დენით გამოსავალი კათოდზე 54%-ს აღწევს, ძაბვა 5,0 ვ-ია.

რამდენიმე ხანში ელექტროლიტი მუქდება და აქაფებას იწყებს. საჭირო ხდება მისი გამოცვლა.

არის ცნობები, რომ ამ ტიპის აბაზანების სიმძლავრე ბოლო დროს 12000 ამპერამდეა გაზრდილი.

ნატრიუმქლორის ტექნიკური ელექტროლიზი. კესტნერის აბაზანებში გამოყენებული ნატრიუმის ტუტე ძვირი პროდუქტია, იგი არის არა უშუალო ნედლეული, არამედ ბუნებრივი სუფურის მარლის გადამუშავების შედეგი. ამიტომ გასაგებია მკვლევართა მისწრაფება — თვით ნატრიუმქლორი გამოიყენონ ელექტროლიტად. როგორც უკვე აღენიშნეთ, ჭერ კიდევ ფარადეი ცდილობდა ამ იდეის განხორციელებას (1833).

თუმცა გაზღვრული ნატრიუმქლორი დენს კარგად ატარებს, მაგრამ მისი ლღობისა (800°) და ლითონური ნატრიუმის ღულილის (680°) ტემპერატურის სიახლოვე, აგრეთვე ამ ელემენტის მცირე კუთრი წონა და ადვილად დაჟანგვის უნარი, რასაც ანოდზე გამოყოფილი



სურ. 57. ელექტროლიზური „ბგ-ნ-50“. 1 — კათოდის ცილინდრი; 2 — ანოდის კომპლექტი; 3 — ქლორის შემკრები ზარბუფი; 4 — ბაღე-დიფრაგმა; 5 — ნატრიუმის შემგროვებელი (კათოდის სუფი); 6 — თხევადი ნატრიუმის შემკრები

ქლორის აგრესიულობაც ემატება, დიდ წინააღმდეგობას ქმნის ამ პროცესის განხორციელებისათვის.

მიუხედავად ზემოაღნიშნულისა, ნატრიუმქლორის ტექნიკური ელექტროლიზი მაინც გახდა შესაძლებელი და ამჟამად სხვადასხვა კონსტრუქციის მძლავრი აბაზანებიც კი მუშაობენ ამ მეთოდით. მათ შორის ტექნიკურად უფრო სრულყოფილად არის მიჩნეული დაუნსის მიერ მრავალი წლის მუშაობის შედეგად ჩამოყალიბებული და პრაქტიკაში კარგად გამოცდილი აბაზანის ორიგინალური კონსტრუქცია. მის საფუძველზე უკანასკნელ წლებში საბჭოთა კონსტრუქტორების მიერ შექმნილია დანადგარი „ბგ-650“, რომლის სქემა მოცემულია ნახ. 57.

აბაზანა ჩასმულია რკინის წიბოებიან გარსაცმში (3,7×4,4×6,0 მ). შიგნიდან იგი ამოგებულია ცეცხლგამძლე აგურით. ქვემო ნაწილში მოთავსებულია გრაფიტის ოთხი ელექტროდისაგან შემდგარი ანოდის კომპლექტი. ანოდები საკონტაქტო ნაწილში ჩასმულია ტყვიით ან ტყვიის შენადნობით. ანოდების საპირისპიროდ გვერდით კედლებში დატანებულია პერფორირებული კათოდები. ყოველი მათგანი მექანიკურად და ელექტრულად არის დაკავშირებული ერთმანეთთან.

ელექტროლიზის შედეგად გამოყოფილი თხევადი ნატრიუმი გროვდება კათოდის თავზე მოთავსებულ ზუფში, საიდანაც ვერტიკალური მილით ადის ზევით და გადაედინება შემკრებში.

ზუფის გაგრძელებაზე ანოდსა და კათოდს შორის ჩაკიდულია ლითონის ბაღე-დიაფრაგმა.

ანოდზე გამოყოფილი ქლორი იკრიბება სპეციალურ ზარფუხში, საიდანაც გაიწოვება საერთო კოლექტორში.

აბაზანის ელექტრული დატვირთვა არის 50 კა; ძაბვა მომჭერებზე აღწევს 7,0 ვ-ს. საათში მიიღება 33 კგ ნატრიუმი და 50 კგ ქლორი. ეს უკანასკნელი საკმაოდ კონცენტრირებულია — 95—98%.

დაუნსის აბაზანაში ელექტროლიტად გამოყენებულია სუფრის მარილი, რომელსაც ლღობის ტემპერატურის დაწვევის მიზნით 56%-მდე კალციუმქლორს ამატებენ; შეიძლება და ფტორიდების ან ბარიუმქლორის დამატებაც, მაგრამ ფტორიდები ქიმიურად აგრესიული ნაერთებია — აზიანებენ ამონაგს, ბარიუმქლორი კი ძვირია და ტოქსიკური.

ელექტროლიზის დროს, მართალია, ნატრიუმთან ერთად კალციუმშიც გამოილექება, მაგრამ ნატრიუმის ლღობის ტემპერატურაზე (97,5°) იგი მთლიანად გამოკრისტალდება და ცილდება ძირითად პროდუქტს. შემდგომი თერმული რაფინირება სუფთა ნატრიუმს გვაძლევს.

მინარეგები, განსაკუთრებით რკინა, სინესტე და სულფატები მკვეთრად ზრდიან დანაკარგებს. 0,5% რკინის შემცველობა, მაგალითად, 36%-ით ამცირებს დენით გამოსავალს.

დაუნის ტიპის აბაზანები უცხოეთში 34000 ამპერამდე დენის ძალაზეა გათვლილი. დენის სიმკვრივე კათოდზე ამ დროს არის 0,9, ხოლო ანოდზე — 1 ა/სმ²; პროცესის ტემპერატურა 620°-ის ფარგლებშია. დენით გამოსავალი კი საშუალოდ 70 %-ს აღწევს. მიღებული ლითონი საჭიროებს რაფინირებას, რისთვისაც მას ფოლადის ქვაბებში აყოვნებენ 4 საათის განმავლობაში. დაწვდომილ ლითონს ასხამენ რკინის დოლებში სოლარის ზეთის ან პარაფინის დამცველი ფენის ქვეშ.

რეაქტიული სისუფთავის ნატრიუმის მისაღებად საჭირო ხდება მისი დამატებით გაწურვა ნიკელის ნასვრეტებიან სველ ფილტრებში 120—125°-ზე.

ნატრიუმის საელექტროლიზო აბაზანის კონსტრუქცია საკმაოდ რთულია; განსაკუთრებით ეს ითქმის ანოდური აირების შემკრებ ზარხუფზე და ბადე-დიაფრაგმაზე, რომელიც მეტად ზუსტ დაცენტრებას საჭიროებს.

აბაზანის ფორმა მისი სიმძლავრისა და ბადე-დიაფრაგმის ზომების გაზრდის საშუალებას არ იძლევა. ნატრიუმის მოხმარების მასშტაბების გაფართოება კი მისი წარმოების მეტ აღმავლობას მოითხოვს. ამიტომ მიმდინარეობს მუშაობა ისეთი აბაზანის შესაქმნელად, რომლისთვისაც გამოყოფი ბადე-დიაფრაგმა აღარაა საჭირო. ვარაუდობენ, რომ ასეთ აბაზანას 100 კა და მეტი დატვირთვა შეიძლება ჰქონდეს. გარკვეულ უხერხულობას იწვევს ქლორის შემკრები ზარხუფის კონსტრუქცია, განსაკუთრებით კი ისეთი მასალების გამოძებნა ითვლება ძნელ პრობლემად, რომლებიც ქლორის აგრესიულ ზემოქმედებას გაუძლებდნენ მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

დიდ იმედებს ამყარებენ ნატრიუმის მიღებაზე ტყვიის თხევადი კათოდით — შენადნობების შემდგომი გამოხდით. ასეთი აბაზანები საკმაოდ დიდი წარმადობის შეიძლება იყოს.

ნატრიუმთან მუშაობა მეტად საფრთხილოა და უსაშიშროების წესების მკაცრ დაცვას მოითხოვს. ნესტიან ზედაპირთან შეხებისას იგი ადვილად ააღდება და ძლიერად ფეთქდება.

კალიუმი, რუბიდიუმი, ცეზიუმი

ელემენტთა პერიოდული კანონის შესაბამისად, ლითიუმიდან ცეზიუმის მიმართულებით ლითონური თვისებები საგრძნობლად მატულობს. ამიტომ არის, რომ კალიუმის მოვერცხლისფერო-თეთრი ზედაპირი ჰაერზე სწრაფად მქრქალდება — იჟანგება. იგი ადვილად წარმოქმნის ჰიდრიდს და დაბალ ტემპერატურაზედაც კი (—33°) ადვილად იხსნება თხევად ამიაკში.

კალიუმის დიდი ქიმიური აქტივობის გამო, მისი უშუალოდ ელექტროლიზით მიღება არ ხერხდება.

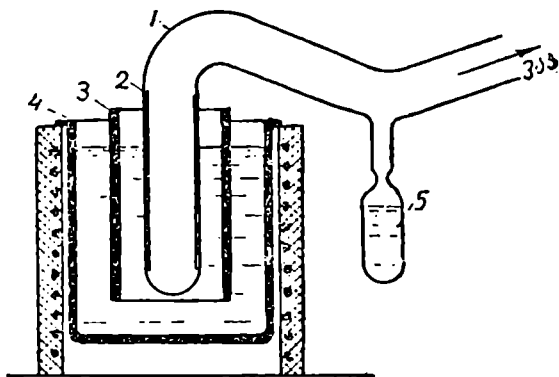
ბოლო დრომდე კალიუმის პრაქტიკული გამოყენების სფერო შეზღუდული იყო. უკანასკნელ წლებში კი მოთხოვნილება მასზე საგრძნობლად გაიზარდა — კალიუმციანისა და სხვა რეაგენტების, კერძოდ. უმაღლესი ენაგეულების (K_2O_4) მიღების მიზნით; ამან გამოიწვია კალიუმის წარმოების გაიაფების საჭიროება. პირველ ხანებში მას იღებდნენ ქიმიური ჩანაცვლების ხერხით — ლითონური ნატრიუმისა და კალიუმის ტუტის ურთიერთქმედებით წინაღონის პრინციპზე მომუშავე საფეხურებრივი ნიკელის კოლონაში (400°), მაგრამ ვინაიდან კალიუმის ტუტე ძვირი პროდუქტია, ამიტომ უფრო მიზანშეწონილად ჩაითვალა ამ მიზნით ქლორიდის გამოყენება. პროცესი საკმაოდ მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს, რაც დიდ სიძნელებებს ქმნის. მიღებული კალიუმი 5—6% ნატრიუმს შეიცავს. თუჯის კოლონებში რექტიფიკაციით მაღალი სისუფთავის ლითონი შეიძლება მივიღოთ.

ბოლო დროს მომეტებული ყურადღება ექცევა გამლღვალი კალიუმქლორიდის ელექტროლიზის მეთოდს თხევადი ტყვიის კათოდის გამოყენებით. პროცესის აპარატურული გაფორმება უფრო მარტივია და ღირის გამოსავალიც შეიძლება მაღალი გვექონდეს. მიღებული შენადნობის დისტილაცია ვაკუუმში სუფთა კალიუმს გვაძლევს.

ამ რამდენიმე წლის წინათ შემუშავებული იყო მაღალი სისუფთავის ტუტე ლითონების მიღების ე. წ. ვაკუუმ-ელექტროქიმიური მეთოდი. მისი არსი შემდეგში მდგომარეობს: შესაბამისი ნიტრატის ლობილში ჩაშვებულია იმავე ტუტე ლითონის შემცველი მინის სინჯარა, რომელიც მაღალი გაიშვიათების მქონე ვაკუუმ-სისტემას უერთდება ($2 \cdot 10^{-6}$ მმ ვ. წ. სვ.). სინჯარა შიგნიდან დაფარულია კოლოიდ-გრაფიტის სუსპენზიით. იგი მემბრანისა და მყარი ელექტროლიტის როლს თამაშობს. საკმაოდ მაღალი (50—60 ვ) მუდმივი ელექტროვოლტის გავლენით, მემბრანასთან მიმდებარე ელექტროლიტის ფენიდან ტუტე ლითონის იონი წარიტაცება იონური გამტარობის მქონე მინის მიკროდეფექტებით. იონების განმუხტვა ხდება მყარი ელექტროლიტის (მინისა) და ვაკუუმის გამოყოფ ზედაპირზე. პროცესი სელექციურად ხორციელდება და მაღალი სისუფთავის ლითონს გვაძლევს.

რუბიდიუმი და ცეზიუმი იონიზაციის ყველაზე დაბალი პოტენციალის მნიშვნელობით და მაღალი ქიმიური აქტივობით ხასიათდებიან. ცეზიუმი, მაგალითად, — 100° -ზედაც კი რეაგირებს მინასთან, ხოლო ჩვეულებრივ პირობებში ჰაერზე თვითააღდება.

სამივე ლითონი ფართოდ გამოიყენება რადიოელექტრონიკაში, განსაკუთრებით კი ფოტონახევარგამტარულ ტექნიკაში.



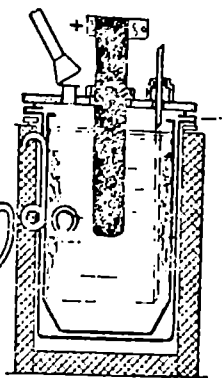
სურ. 58. ვაკუუმ-ელექტროქიმიური დანადგარის სქემა.

- 1 — სპეციალური მინის მემბრანა; 2 — კათოდი (ლითონის ან გრაფიტის დანაფარი); 3 — პიროლიზური გრაფიტის ანოდი;
4 — ნიკელის აბაზანა; 5 — ტუტე ლითონის შემკვები

მცირე იონიზაციის პოტენციალისა და ლღობისა და დუღილის დაბალი ტემპერატურების გამო, კალიუმს, რუბიდიუმსა და ცეზიუმს იყენებს ლითონორგანული ქიმია და უახლესი ტექნიკის ბევრი მნიშვნელოვანი დარგი.

4	
Be	
9,0122	
8,9	2,5 ²
Δ _f = 1,85	
Δ _c = 1284°	
Δ _ფ = 2507°	
φ = -0,71	

ბერილიუმი



1798 წლის 15 თებერვალს ცნობილმა ქიმიკოსმა ლ. ნ. ვოკლენმა საფრანგეთის აკადემიის საზეიმო სხდომას აუწყა მის მიერ ახალი ელემენტის აღმოჩენის შესახებ ზერილსა და ზურმუხტში. ამ ელემენტს მკვლევარმა „გლიცინიუმი“ შეარქვა, ვინაიდან მის ნაერთებს ტკბილი გემო ჰქონდათ¹². ასევე იწოდება იგი საფრანგეთში ბოლო დრომდე. სხვა ქვეყნებში მას ბერილიუმის სახელი დაუმკვიდრა.

შედარებით სუფთა (80%-იანი) ლითონის მიღება მხოლოდ სამიოდე ათეული წლის შემდეგ მოახერხა ფ. ველერმა — ქლორიდის აღდგენის, შედგად კალიუმით. ბერილიუმის პირველი სამრეწველო პარტია კი ასი წლის შემდეგ გამოვიდა ბაზარზე.

ბერილიუმი საკმაოდ სალი ლითონი გამოდგა. სხვა ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლებითაც იგი უფრო „ბ“ ჯგუფის ელემენტებს ჩამოგავს: კრისტალდება ჰეგსაგონალურ სისტემაში, აქვს კომპლექსების წარმოქმნის უნარი, ჰიდრიდება და ზეჟანგებს კი არ იძლევა. რაც შეეხება ქიმიურ თვისებებს, ამ მხრივაც ბერილიუმი ალუმინის ანალოგი აღმოჩნდა: ანასიათებს გაპასივება აზოტმეჯავში, გამოირჩევა მარილთა ადვილი ჰიდროლიზით, აქვს მაღალი სწრაფვა ენგბადისადმი, რომელთანაც ძნელლობად (2525°) და ამფოტერული თვისების მქონე ენგეულს წარმოქმნის. ალუმინის მსგავსად, კარგად იხსნება ტუტეებში. მიიღება ბერილატები.

¹² საკირთა ვახსოვდეს, რომ ბერილიუმის ნაერთები შხამებია. საშამია თვით ლითონის ნაწილაკების (აეროზოლის) მოხვედრაც კი კანზე, კრილობაზე, ფილტვებში, სისხლში, საკმლის მოწნელებელ ორგანოებში. მოწამლა რამდენიმე დღის (ზოგჯერ თვისა და წლის) შემდეგ გამოვლინდება ხოლმე. ამიტომ ბერილაუმთან და მას ნაერთებთან მუშაობა გარკვეულ სიფრთხილეს მოითხოვს.

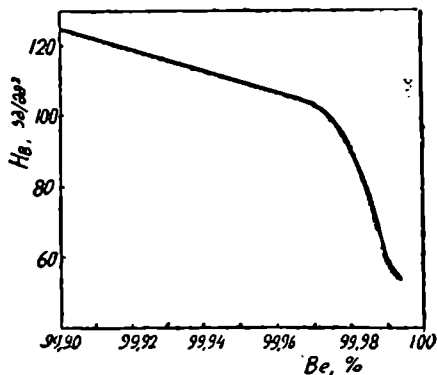
ამიტომ იყო, რომ საუკუნეზე მეტი ხნის მანძილზე მიმდინარეობდა კაპათი ბერილიუმის ვალენტობის ირგვლივ. მხოლოდ 1920 წელს ე. კლარკმა და ბ. ბრაუნერმა საბოლოოდ დაადასტურეს რუსი მეცნიერების — ა. ავდეევისა¹³ და დ. მენდელეევის მოსაზრება ბერილიუმის ორვალენტურობის შესახებ.

კომპაქტური ლითონი ღია ვერცხლისფერია, ჩვეულებრივ პირობებში საკმაოდ მედეგი როგორც ჰაერზე, ისე ჟანგბადის გარემოსა და ზღვის წყალში. ეს გაპირობებულია მის ზედაპირზე თხელი, გამჭვირვალე, მკვრივი და კოროზიამედეგი ჟანგის ფურჩის წარმოქმნით.

ბერილიუმი წყალბადს არ უერთდება და წითელი ვარვარის ტემპერატურაზედაც კი არ შლის წყლის ორთქლს. ფხვნილი მუქი ვერცხლისფერია. ჟანგბადში ინთება.

ბერილიუმი საკმაოდ ძნელად ღებობადია (1284°). ლითონებს შორის აქვს ყველაზე მაღალი ღებობის ფარული სითბო — 275 კალ/გ. მცირედ ქროლდება 1600°-ზეც კი; არც ბერილიუმი და არც მისი ნაერთები ბუნუნის ნათურის ალს ფერს არ უცვლის.

აღსანიშნავია ისიც, რომ ბერილიუმი სიმტკიცით 3-ჯერ სჯობნის ფოლადს და 1,6-ჯერ ტიტანს. ისეთი ძირითადი მაჩვენებლით კი, როგორცაა სიმტკიცის მოდულის ფარდობა სიმკვრივესთან, ბერილიუმს



სურ. 59. ბერილიუმის სიმტკიცის დამოკიდებულება მისი გაწმენდის ხარისხისაგან

¹³ ი. ავდეევა 1842 წელს პირველმა გამოთქვა ეს ვარაუდი, ხოლო დ. მენდელეევა 1869 წელს იწინასწარმეტყველა ამ ელემენტის შედარებითი ატომური მასა (9,1).

ლითონებს შორის ბადალი არ ჰყავს. აღსანიშნავია აგრეთვე მისი მაღალი სითბოგამტარებლობა და სითბოტევადობა. კუთრი ელექტროგამტარებლობით კი იგი თითქმის უტოლდება სპილენძსა და ვერცხლს.

მაგრამ ბერილიუმს აღმოაჩნდა ნაკლიც — იგი მინასავით მსხვრევადია, რაც ზოგჯერ აბრკოლებს მისი სუფთა ლითონის სახით გამოყენებას. მოგვიანებით გამოიჩინა, რომ სიმყიფე მცირე მინარევეების არსებობის შედეგია. 0,1—0,2% ჟანგბადის შემცველობა, მაგალითად, მის მექანიკურ დამუშავებას შეუძლებელს ხდის. უმაღლესი სისუფთავის — 99,99% — იანი ლითონი კი ბლანტი და პლასტიკური აღმოჩნდა (სურ. 59).

გამოყენება. მიუხედავად იმისა, რომ ბერილიუმი და მისი ნაერთები მთელი ასი წლის მანძილზე არაერთგზის იყო შესწავლილი და გამოკვლეული, ამ ლითონს გამოყენების არავითარი პერსპექტივა არ გამოენახა. მხოლოდ წარსული საუკუნის მიწურულში, როდესაც პ. ლებომ შესძლო სპილენძბერილიუმის შენადნობის მიღება და აღმოაჩინა, რომ ბერილიუმის მცირე დანამატიც კი საკვირველად ზრდის ძირითადი ლითონის სიმტკიცეს, დაისახა რეალური გზები ბერილიუმის ფართო გამოყენებისათვის.

დადგინდა, რომ 1—5% ბერილიუმის შემცველი სპილენძის შენადნობის („ბერილიუმის ბრინჯაოს“) სიმტკიცე ლევირებული ფოლადის სიმტკიცესაც კი აღემატება. შენადნობები მექანიკურად ადვილი დასამუშავებელია. შესაძლებელია 0,1 მმ სისქის ლენტის დამზადება, არამაგნიტურია და დარტყმისას ნაპერწყალს არ იძლევა. სწორედ მათგან მზადდება ნაირგვარი ინსტრუმენტები, ფეთქებასაფრთხო გარემოში სამუშაოდ (აირის ქარხნები, შახტები, წისქვილები და სხვ.).

ბერილიუმის ბრინჯაო საუცხოვო მასალა გამოდგა ნაირგვარი ზამბარების, რესორების, ამორტიზატორების, საკისრების, კბილანებისა და ხელსაწყოთმშენებლობისა და მანქანათმშენებლობის სხვა ისეთ ნაკეთობათა დასამზადებლად, რომელთაც მაღალი სიმტკიცე, კოროზიული დაღლილობისადმი მედეგობა, მაღალი ელექტრო-და სითბოგამტარებლობა უნდა ახასიათებდეს.

ეს ბრინჯაოები გამოირჩევა საუცხოო დეკორაციული ფერით და ცეცხლმედეგობით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია დრეკადობა და მოუღლელობა ნაირგვარი დატვირთვისას. მათ ფართოდ იყენებს ელექტრო- და რადიოტექნიკა — კონტაქტების, სოლენოიდების, ელექტროძრავათა მუხების დამკერების, ჟანგბადის რეგულატორების, გამომთვლელი მანქანების დამამახსოვრებელი მოწყობილობის ძირითადი ელემენტების დასამზადებლად და სხვ.

ზოგიერთი თანამედროვე თვითმფრინავის ათასამდე დეტალი აგრეთვე სპილენძ-ბერილიუმის შენადნობისაგან არის დამზადებული. ფართო გამოყენება პოვა მან საავტომობილო მრეწველობაშიც.

ბერილიუმი განსაკუთრებით ძვირფასი მასალა აღმოჩნდა ატომგულური ტექნიკისათვის, კერძოდ, რეაქტორებში — თბური ნეიტრონების ამრეკლებისა და შემნელებლების დასამზადებლად, აგრეთვე ატომგულური საწვავის გადასატანი და შესანახი კონტეინერის შიგნითა ზედაპირის დასაფარავად. ბერილიუმით ფარავენ მაღალი სისუფთავის შენადნობების, კერძოდ, ურან-ნიობიუმისა და ურან-ვოლფრამის გამოსადნობ გრაფიტის ტიგლებს, რათა თავიდან აიცილონ მათი ნახშირბადით გაჭუჭყიანების საშიშროება.

ბერილიუმს ამჟამად ფართოდ იყენებს ფერადი მეტალურგია — მაღალი სიმტკიცისა და კარგი ელექტროგამტარობის მქონე შენადნობების მისაღებად.

მხურვალმტკიცე ლითონებთან — ტანტალთან, ნიობიუმთან და ცირკონიუმთან ბერილიუმი ინტერმეტალურ ნაერთებს იძლევა. მიიღება ბერილიდები — მსუბუქი, მაღალი სიმტკიცის მქონე კოროზიუმდეგი ძვირფასი საკონსტრუქციო მასალები მრეწველობისათვის.

საკმაოდ გავრცელებულია ბერილიზაციის პროცესი — საპასუხისმგებლო ნაკეთობების დაყოფება ბერილიუმისა და ფერობერილიუმის ფხვნილში მათი შემდგომი გახურებით 1000°-ზე. ამ დროს დეტალის ზედაპირზე წარმოიქმნება კოროზიულად მდეგი მაღალი სისალის თერმოდირფუზიური შრე, რომელიც კარგად იცავს ძირითადი ლითონის ზედაპირს აზოტმეფავას, ზღვის წყლისა და მალალტემპერატურითანი აირების აგრესიული მოქმედებისაგან.

ძვირფას თვისებათა ერთობლიობით გამოირჩევა ბერილიუმის ქანგი — აქვს ლღობის მაღალი ტემპერატურა, გამძლეა თერმული დარტყმებისადმი, ხასიათდება საუკეთესო სითბოგამტარობით და ანათანავე მაღალი ელექტროწინაღობით, მდეგია ატომგულური დასხივებისადმი. აღნიშნულის გამო იგი საუკეთესო მასალად ითვლება ახალ ტექნიკაში, ინერტული ცეცხლგამძლეებისა და სპეციალური მინების მრეწველობაში, ლუმინოფორებისათვის და სხვ.

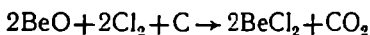
ბერილიუმის მინერალები. ქიმიური აქტივობის გამო ბერილიუმი ბუნებაში მხოლოდ ნაერთების სახით შეიძლება გვექონდეს. მიწის ქერქში იგი ორჯერ მეტი რაოდენობითაა, ვიდრე ტყვია, მაგრამ 20000-ჯერ ნაკლებია ალუმინზე. მთავარი სამრეწველო მნიშვნელობა ბერილიუმის ორმაგ ალუმოსილიკატს — ბერილს აქვს — $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. იგი საკმაოდ მსუბუქი (2,62) და სალი მინერალია (სისალე მოოსის სკალით არის 8). ზოგჯერ ბერილის საკმაოდ დიდ, ორ ტო-

ნამდგ მოგრძო ჰებსაგონალურ კრისტალებსაც ნახულობენ ხოლმე, მაგრამ ითვლება, რომ ბერილიუმის მინერალები ძნელი მოსაპოვებელია და გამდიდრებას მოითხოვს.

უმაღლესი ხარისხის ბერილის გამჭვირვალე სუფთა მინერალები, შეფერილი სხვა ლითონის ქანგის უმცირესი მინარევით, ჯერ კიდევ ძველ ეგვიპტეში იყო ცნობილი, როგორც წარმტაცი სილამაზის ძვირფასი ქვები. ასეთებია ნუბიის უდაბნოსა და სამხრეთ ამერიკის მწვანე ზურმუხტი, ცეილონის მოყვითალო-ოქროსფერი ქრიზობერილი და სხვ. ქრომის ქანგი აძლევს მუქ მწვანე შეფერილობას ზურმუხტსაც, ხოლო ზღვის წყლისფერ აკვამარინში მანგანუმის უმნიშვნელო მინარევია, ვარდისფერ ვარობიევიტში — ცეზიუმის, ყვითელ ჰელიოდორში — რკინისა. პელენიტის შედგენილობა გამოისახება ფორმულით $Mn_3[BeSiO_4]_6 \cdot S_2$. „ლურჯი წყალი“ — ევკალიზი კი სამი ქანვეულის ნერთია — $2BeO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. ცეცხლწითელი ფენაიტი, რომელიც ბერილიუმის სილიკატს წარმოადგენს — $2BeO \cdot SiO_2$, ღრმა წიაღიდან მზის სინათლეზე ამოტანისას რამდენიმე წუთში უფერულდება. ბერილის ოჯახს მიეკუთვნება საკვირველი ალექსანდრიტიც. იგი ქანველ-ონივით იცვლის ფერს — დილით მწვანეა, საღამოს კი — ყოლოსფერი.

ბერილიუმის მინერალების მსოფლიო მოპოვება, სსრკ-ს გარეშე, 20 000 ტ-ს აღწევს წლიურად (არგენტინა, ბრაზილია, ინდოეთი, აფრიკა). მინერალების გახსნა წარმოებს ფტორიდით, სულფატით, მარილმჟავას მეშვეობით. მიიღება სათანადო მარილები, ქანგი ან ჰიდროქანგი, რომლებიც ამა თუ იმ რაოდენობით შეიცავენ მინარევებს. მათი მოცილება საკმაოდ რთულ საქმედ ითვლება. ამისათვის საფრანგეთში მიმართავენ მრავალჯერად კრისტალიზაციას და მძიმე ლითონების მოცილებას გოგირდწყალბადით. ჩვენთან გამოყენებულია ძმარმჟავათი დამუშავების მეთოდი — მიღებული ბერილიუმაცეტატის გამოხდით $300-400^\circ$ -ზე და მისი შემდგომი პიროლიზით $600-700^\circ$ -ზე. წარმოიქმნება ბერილიუმის ქანგი, რომელიც კიდევ მოითხოვს დამატებით გაწმენდას.

ელექტროლიზისათვის საჭირო ქლორიდი მიიღება ბერილიუმის ქანგის დაქლორვით 900° -ზე, ნახშირბადოვანი ნივთიერების თანყოფინისას:



პარალელურად წარმოიქმნება ალუმინისა და სილიციუმის ქლორიდებიც, მაგრამ ისინი შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ქოლდებიან და ცალკე კონდენსირდებიან. ეს ადვილებს მათ მოცილებას.

ბერილიუმქლორის ელექტროლიზი. პროცესს ნაკელის ან უქანგავი ფოლადის ცილინდრულ აბაზანაში ატარებენ. ეს უქანასკნელი კათოდის როლს ასრულებს. ანოდად გამოყენებულია ნახშირის ლერო. დენის ძალა შედარებით მცირეა — 2 ვა, ძაბვა 4—6 ვოლტის ფარგლებშია.

ელექტროლიტად აღებულია არა სუფთა ბერილიუმქლორი (იგი ცუდი ელექტროგამტარია), არამედ მისი 5—7%-იანი ლობილი ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ექვიმოლარულ ნარევეთან (იხ. სურ. 11 დ). უაღრესი ჰიგროსკოპულობის გამო, ბერილიუმქლორი ჰერმეტიკულად დახშულ ხეიმირში ინახება.

მინარევებისაგან განთავისუფლების მიზნით ჯერ ატარებენ წინასწარ ელექტროლიზს დენის დაბალ სიმკვრივეზე. საჭიროა აღინიშნოს, რომ დენის სიმკვრივე შემდეგშია ც საკმაოდ დაბალია — კათოდზე 0,08, ხოლო ანოდზე 0,73 ა/სმ²-ს არ აღემატება.

ელექტროლიზი პერიოდული ქმედების აბაზანაში ტარდება, რომელიც გარედან აირის ან ელექტროწინალობის ღუმელით ხურდება. ციკლის დამთავრების შემდეგ ელექტროლიტს გადმოსახამენ (წნევის დახმარებით), კედელზე ქერცლის სახით მიკრულ ლითონს კი სპეციალური ჩამქით იღებენ და წყლით რეცხავენ. ამ ოპერაციის გაადვილების მიზნით ბოლო დროს დაიწყეს ამოსაღები ცილინდრული კათოდების გამოყენება.

დენის გამოსავალია 75%; ენერჯის ხარჯი საკმაოდ მაღალია — 40 კვტ-ს 1 კგ პროდუქტზე.

მაღალი სისუფთავის ლითონი საგულდაგულოდ გასუფთავებული და სპეციალურად მომზადებული ელექტროლიტიდან მიიღება ჰერმეტიკულ აბაზანაში. ლითონის კუთრი წონა ისეთივეა, როგორც მაგნიუმის შენადნობებისა, მაგრამ მათგან განსხვავებით ბერილიუმი გაცილებით უფრო დიდი ქიმიური მედეგობით და მსურველმტკიცობით ხასიათდება.

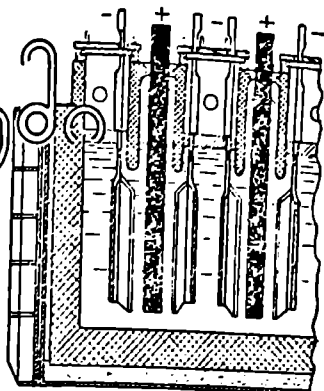
ბერილიუმი უმაღლესი ხარისხის საკონსტრუქტორო ლითონია და მისი გამოყენების სფეროები წლიდან წლამდე ფართოვდება.

მომავლის თვითმფრინავების სიჩქარე და საიმედოობა, როგორც ვარაუდობენ, სწორედ ბერილიუმის ძვირფას თვისებებზე იქნება დამოკიდებული. მისგან დამზადებული ნაკეთობა ხომ 500°-ზედაც არ იცვლის მექანიკურ თვისებებს, მაშინ, როდესაც ალუმინის თანამედროვე შენადნობებს ეს თვისებები უკვე 200°-ზე უქვეითდება.

12	
Mg	
24,312	
24,25,26	3s ²
$\chi_f = 1,74$ $t_r = 651^{\circ}\text{C}$ $t_e = 1103^{\circ}\text{C}$ $\varphi = -1,59_3$	

მაგნიუმი

M — 2
L — 8
K — 2



გასული საუკუნის დასაწყისში ინგლისელმა მეცნიერმა ჰ. დევიმ შრომატევადი ცდების შედეგად მოახერხა უცნობი ელემენტის ამალგამის მიღება და მისი გამოხდა. მაციერის კედელზე აბრკვეილდა სახუკვარი ლითონის მოთეთრო-ვერცხლისფერი კრისტალები. შემდგომში ლითონი გამლღვალ მარილის ელექტროლიზითაც იქნა მიღებული. ჰ. დევიმ მას „მაგნიუმი“ შეარქვა (წინათ ეს სახელი „ახლანდელ“ მანგანუმს ჰქონდა მიკუთვნებული).

ლითონი საკვირველად მსუბუქი (კ. წ. არის 1,74) და ჩვეულებრივ პირობებში მედივი აღმოჩნდა. ცხადია, რომ ახალი ლითონით ბევრი დაინტერესდა. მხოლოდ მისი მიღება ჩანდა ძნელი.

1828 წელს ფრანგმა ა. ბიუსიმ შესძლო ქლორიდის $MgCl_2$ -ის აღდგენა კალიუმით, ხოლო 1652 წ. გერმანელმა რ. ბუნზენმა მოახდინა ამ მარილის ელექტროლიზი. ხუთი წლის შემდეგ ფრანგი მრეწველი და მეცნიერი სენ--კლერ-დევილი, კარონთან ერთად, ანხორციელებს მაგნიუმის მიღებას შედარებით ფართო მასშტაბით. უწყლო მაგნიუმ-ქლორს იგი აღადგენდა ნატრიუმით.

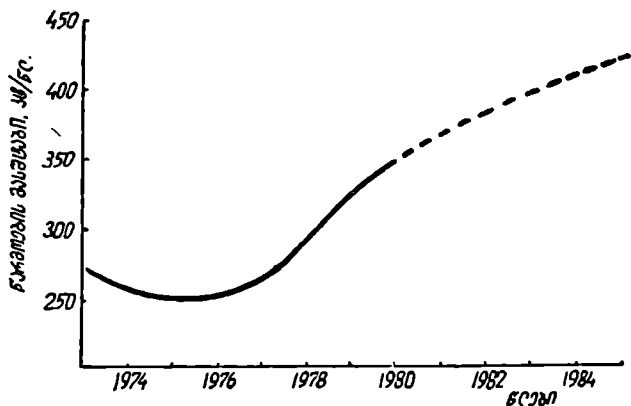
XIX საუკუნის მიწურულში მაგნიუმს იღებდნენ პიროტექნიკური მიზნებით. იგი კაშკაშა თვალისმომკრელი ალით იწვის.

მას შემდეგ კი, რაც მაგნიუმს შენადნობების, კერძოდ, დიურალუმილის ძვირფას თვისებებს მიაგნეს (1918 წ., ა. ვილმი), მაგნიუმის წარმოებას მტკიცე საფუძველი ჩაეყარა. მიუხედავად ამისა, მისი გამომუშავება კარგა ხანს დაბალ დონეზე იყო და 1914 წლისათვის, მაგალითად, რამდენიმე ასეულ ტონას არ აღემატებოდა. პირველი მსოფლიო ომის წლებში მწარმოებლობა ათას ტონამდე ავიდა. მოთხოვნილება მაგნიუმზე განსაკუთრებით საგრძნობი გახდა მეორე მსოფლიო ომის

წლებში და 1943 წლისათვის რეკორდულ სიდიდეს — 243 კტ-ს მიაღწია, რის შემდეგ მკვეთრად შემცირდა და 1949 წლისათვის 9 ათას ტონამდე დაეცა. უკანასკნელ ათეულ წლებში მაგნიუმის მსოფლიო წარმოება ყოველწლიურად 5—6%-ით იზრდებოდა და 1980 წლისათვის საზღვარგარეთის ქვეყნებში 300 კტ მიუახლოვდა, 1985 წლისათვის კი 365 კტ-ის გამომუშავებაა ნაგარაუდევრ.

ბოლო წლებში ახალი ქარხნებია აშენებული აშშ, ნორვეგიაში, იუგოსლავიაში, ჩინეთსა და ინდოეთში.

მაგნიუმის წარმოების აღმავლობა გაპირობებულია მისი მზარდი გამოყენებით ტექნიკის სხვადასხვა დარგში და ტიტანის წარმოების გაფართოებით.



სურ. 60. მაგნიუმის მსოფლიო წარმოება

გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ა. კარგა ხნის მანძილზე მაგნიუმის ძირითადი მომხმარებელი იყო საავიაციო მრეწველობა. მანქანათმშენებლობა კი საკმაოდ შეზღუდული რაოდენობით იყენებდა მას.

ამჟამად მეტად აქტუალური გახდა მაგნიუმის სამსხმელო და დეფორმირებადი შენადნობების გამოყენება სახალხო მეურნეობის ბევრ დარგში — უფრო დეფიციტური შენადნობების შეცვლისა და სხვა მიზნებით.

მართალია, სუფთა მაგნიუმი (და საერთოდ ყველა მსუბუქი ლითონი) არასახარბიელო მექანიკური თვისებებით ხასიათდება, მაგრამ ალუმინით, თუთიით, მაგნიუმით, ცირკონიუმით, კადმიუმით ან იშვიათმიწა ლითონებით ლეგირების შედეგად, ეს თვისებები საგრძნობლად უმჯობესდება. ამასთანავე, ვინაიდან მაგნიუმი სამრეწველო-საკონს-

ტრუქტორო ლითონებს შორის ყველაზე მსუბუქია (ალუმინი მასზე 1,5-ჯერ მძიმეა, ტიტანი — 2,6-ჯერ, ხოლო ფოლადი — 4,5-ჯერ), მისი შენადნობების კუთრი სიმტკიცე¹⁴ უფრო მაღალი გამოდის, ვიდრე ალუმინისა და ჩვეულებრივი ფოლადებისა. ამ შენადნობების გამოყენება აუმჯობესებს ნაკეთობათა ტექნიკურ-ეკონომიკურ და საექსპლოატაციო მაჩვენებლებს, რაც განსაკუთრებით მსუბუქი კონსტრუქციების შემთხვევაში არის მომგებიანი (ავიაცია, რეაქტიული ტექნიკა, თანამედროვე სატრანსპორტო საშუალებები, ნაირგვარი აპარატურა და სხვ.).

მაგნიუმი ჩვეულებრივ პირობებში მედეგია როგორც ჰაერზე, ისე წყალში; მაღალ ტემპერატურაზე კი იმდენად აქტიური ხდება, რომ ძნელად აღსადგენ ლითონებსაც კი გამოაძევებს ნაერთებიდან. მაგნიუმის ამ თვისებას ემყარება ტიტანის, ცირკონიუმის, ვანადიუმის, ბერილიუმის, ურანისა და პროგრესული ტექნიკის ზოგიერთი სხვა ლითონის მიღების თერმული ხერხი, რაც საკმაოდ ფართო მასშტაბით არის დანერგილი.

შავი მეტალურგია მას ხმარობს განმეანგველად და მაღალმტკიცე მოდიფიცირებული თუჩების მისაღებად, ფერადი მეტალურგია — მალეგირებელ ელემენტად და მოდიფიკატორად ალუმინის შენადნობებისათვის.

მაგნიუმის პროტექტორები დანერგილია გემებისა და მიწისქვეშა ნაგებობათა ნავთობისა და აირის მილსადენების კოროზიისაგან დაცვისათვის, აგრეთვე სამოქალაქო მანქანათმშენებლობაში.

მაგნიუმის ნაერთებს ფართო გამოყენება აქვს ორგანულ სინთეზში, მედიცინაში, სამხედრო ტექნიკაში და სხვ.

რუსეთში მაგნიუმის წარმოებით ჯერ კიდევ 1914 წელს დაინტერესდნენ, მაგრამ ელექტროლიზის ნახევრადსაქარხნო ცდების ჩატარება მხოლოდ 1930-იან წლებში მოხერხდა, პროფ. პ. ფედოტიევის ხელმძღვანელობით. ამ ცდების საფუძველზე პირველ ხუთწლედში აშენდა სოლიკამსკისა და დნეპროპეტროვსკის მაგნიუმის ქარხნები, დიდი სამამულო ომის წლებში კი ბერეზნიკებსა და სოლიკამსკში ადგილობრივი კარნალიტების უნიკალური საბადოების ბაზაზე მძლავრი ქიმიურ-მეტალურგიული კომბინატები შეიქმნა.

გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ ა და ნ ე დ ლ ე უ ლ ი. მაგნიუმი ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული ელემენტია ბუნებაში. ამჟამად ცნობილი 2300 მინერალიდან 200-ზე მეტი მაგნიუმის შემცველია. მთავარი მათ შორის არის მაგნეზიტი — $MgCO_3$ და დოლომიტი — $CaCO_3 \cdot MgCO_3$.

¹⁴ კუთრი სიმტკიცე არის სიმტკიცის ფარდობა კუთრ წონასთან.

ეს უკანასკნელი დიდი რაოდენობით მოიპოვება საქართველოშიც — ქარელის რაიონში, აფხაზეთში და სხვ.

მაგნიუმის მეტალურგიის აღმავლობას მრავალმხრივ განაპირობებს მისი ნედლეულის პრაქტიკულად უღვეველობა. ერთ-ერთი საყოველთაოდ ხელმისაწვდომი ნედლეულია ზღვის წყალი, რომელიც 0,4%-მდე ბიშოფიტს ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) შეიცავს. 1980 წელს, მაგალითად, ზღვის წყლის გადამუშავებით 2,2 მლნ ტ მაგნიუმის ნაერთები იყო მიღებული.

კიდევ უფრო ხელსაყრელია ლიმანები (პერეკოპი, სივაში, ყარაზოლაზგოლი, დასავლეთი უკრაინა და სხვ.). მათში მაგნიუმის შემცველობა 7—8-ჯერ მეტია, ვიდრე ლია ზღვაში. მარილების შემდგომი კონცენტრირება ხდება ბუნებრივ პირობებში აორთქლებით, რაც ასევე ული კმ² ფართობის მქონე ხელოვნურ წყალსაცავებში ხორციელდება. წილადობრივი დალექვით დასაწყისში გამოილექება $CaSO_4$, შემდეგ $NaCl$ და კარნალიტი — $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, ბოლოს კი ბიშოფიტი. მკვდარი ზღვიდან, მაგალითად, ყოველწლიურად 25 კტ MgO მოიპოვება.

მაგნიუმის მისაღები ელექტროლიტის შედგენილობა სხვადასხვა რეგიონში სხვადასხვაა — იმის მიხედვით, რომელი ნედლეულის გადამუშავებაა უფრო ხელსაყრელი. ამერიკული ფირმები, მაგალითად, ძირითადად ლითიუმქლორის დამატებას მიმართავენ (ცხრ. 17), რომლის დიდი მარაგებია შექმნილი ზოგიერთი მლაშე ტბების ამოშრობის შედეგად. ამ მარილის დამატება საკმაოდ ზრდის ლობილის ელექტროგამტარობას, რაც თავის მხრივ განაპირობებს ელექტროენერჯის ხარჯის მკვეთრ შემცირებას.

საბჭოთა კავშირში მაგნიუმის მისაღებად მსოფლიოში უდიდესი ვერხნეკამსკის (ურალშია) საბადოს ბუნებრივ კარნალიტს იყენებენ; მისი გადამუშავება გაცილებით ადვილია, ვიდრე ბიშოფიტისა. საკმაოდ გავრცელებულია ქიმიურ წარმოებათა ნარჩენებიდან მიღებული ე. წ. სინთეზური კარნალიტის გამოყენებაც.

ელექტროლიზისათვის განკუთვნილი კარნალიტი გაუწყლოების რამდენიმე საფეხურს გადის მაღალი მწარმოებლობის მქონე (7—8 ტ/სთ) ქლორატორებში 450°-ზე. მიიღება დიჰიდრატი — $MgCl_2 \cdot 2H_2O$, რომელიც საბოლოოდ ელექტროლიზის წინ ე. წ. შემრევეში ცხელდება 780—800°-ზე, დაწდება და მიეწოდება აბაზანებს.

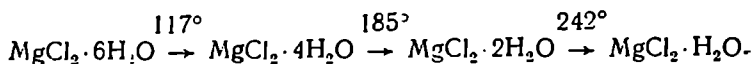
მაგნიუმის მიღების მეთოდის არჩევანს განსაზღვრავს ამა თუ იმ რეგიონში არსებული ნედლეულის სახეობის გადამუშავების რენტაბელობა და წარმოების მასშტაბი.

სილიკოთერმული მეთოდი შედარებით მარტივია, ეკოლოგიური თვალსაზრისით უფრო მისაღები და შედარებით მცირე მასშტაბის

(< 24 კვტ) მობილური დანადგარებისათვის არის მიზანშეწონილი; რაც შეეხება ელექტროლიზის მეთოდს, იგი მძლავრი საწარმოებისა და დენის დიდი დატვირთვის (~ 150 კა) მქონე დანადგარებისათვის ითვლება ეკონომიკურად გამართლებულად.

მაგნიუმის მეტალურგია მეტად ენერგოტევადი დარგია: ნედლეულის გადამუშავების ჩათვლით, 1 ტ მაგნიუმის მისაღებად $1,5$ -ჯერ მეტი ელექტროენერგიაა საჭირო (33 მეტ-ს), ვიდრე ალუმინისათვის ($23,2$ მეტ-ს). ამ მხრივ მას მხოლოდ ტიტანი აღემატება ($38,8$ მეტ-ს). მაგრამ გასათვალისწინებელია ის ეკონომიკური ეფექტი, რასაც მაგნიუმისა და მისი შენადნობების გამოყენება აქლევს: 2 ტ მაგნიუმს შეუძლია 3 ტ ალუმინი შეეცვალოს, ამასთანავე მხედველობაშია მისაღები მისი შენადნობების ტექნოლოგიური უპირატესობანი.

ელექტროლიზური მაგნიუმი უმთავრესად კარნალიტისა და ბიზოფიტის გადამუშავებით მიიღება; უკანასკნელ შემთხვევაში მარილების გამოცალკევებას წილადობრივი დალექვით ახდენენ, რის შემდეგ საჭიროა გაუწყლოება; მაგრამ ეს პროცესი, მაგნიუმქლორის ძლიერი ჰიდროსკოპულობის უნარის გამო, რთული განსახორციელებელია. საკრისტალიზაციო წყალს საფეხურებად აცილებენ:



განსაკუთრებით ძნელდება წყლის ორი უკანასკნელი მოლეკული-საგან განთავისუფლება, ვინაიდან 182° -ზე ენერგიული ჰიდროლიზი იწყება:



350° -ზე ჰიდროლიზი მთლიანია.

ბიზოფიტის გაუწყლოება მიზანშეწონილია მყარ ფაზაში 200 — 600° -ის ფარგლებში, ქლორწყალბადმეავას მაღალი პარციალური წნევის ქვეშ.

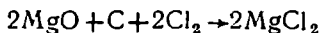
კარნალიტის გაუწყლოება უფრო იოლია, რადგან ორმაგ მარილში მაგნიუმქლორის აქტივობა ნაკლებია.

გაუწყლოება ორ საფეხურად მიმდინარეობს: პირველ საფეხურზე კარნალიტს აყოენებენ 30 მ სიგრძის მბრუნავ ლუმელში. მიღებულ მასას შემდეგ ალღობენ მძლავრ შახტურ ელექტროლუმლებში. ლღობილის დაწდომა ხდება შემრეველებში 750 — 800° -ზე. მზა მასა ციცხვით გადააქვთ საელექტროლიზო განყოფილებაში.

მომავალში გაუწყლოება განზრახულია ჩატარდეს ერთ საფეხურად. „მდულარე შრეში“ 120 — 240° -ზე.

მიზანშეწონილია აგრეთვე მაგნიზიტის ან მაგნიუმის ქანგის დაქ-

ლორვა, რაც ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ლობილში ხდება ნახშირბადთან ერთად, რომელიც ყანვბადის შემბოქავად გვევლინება:



მართალია, მაგნიუმის ყანვის, ქლორისა და ნახშირბადის შეხვედრის ალბათობა მეოთხე ფაზაში — ლობილში — მცირეა, მაგრამ დაქლორვა მაინც ინტენსიურად მიმდინარეობს, რადგან პირველი ორი კარგად იხსნება ლობილში. რეაქცია ამ ორი უყანასკენელი ფაზის გამოყოფ ზედაპირულ შრეში მიმდინარეობს. საერთოდ კი ქლორზე დიდი მოთხოვნილების გამო ბუნებრივი მარილების (ქლორიდების) გამოყენება უფრო მიზანშეწონილად ითვლება.

ელექტროლიტი. ელექტროლიტის შედგენილობა ბევრად განსაზღვრავს პროცესის ძირითად ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებს. მისი შერჩევა ხდება არსებული ნედლეულის სახეობისა და ხარისხის, კომპონენტების ღირებულებისა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების მიხედვით.

ელექტროლიტად სუფთა მაგნიუმქლორის გამოყენება არ აღმოჩნდა მიზანშეწონილი შემდეგი მიზეზების გამო:

1. მას აქვს შედარებით მაღალი ლობის ტემპერატურა (712°). ამ ტემპერატურის ზევით კი ელექტროლიზის პროცესის ტექნიკური მაჩვენებლები შესამჩნევად უარესდება.

2. გამლვალ მაგნიუმქლორი ხასიათდება მცირე ელექტროგამტარობით, რაც დენის დიდ ხარჯს იწვევს. იგი შედარებით ბლანტია. ეს კი აძნელებს რეაქციის პროდუქტების გამოცალკევებას ელექტროლიტისაგან.

3. იგი ძლიერ პიროლიზდება, ხოლო მაღალ ტემპერატურაზე ადვილად ორთქლდება.

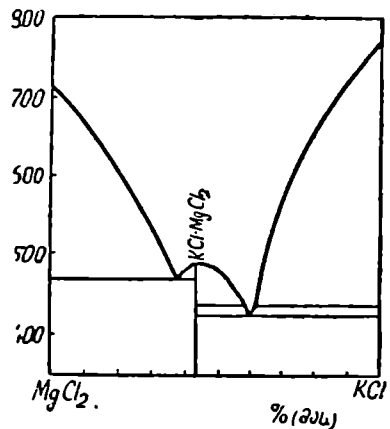
აღნიშნულის გამო, პრაქტიკული მიზნებისათვის გამოყენებულია ამ მარილის 10—20%-იანი ნაზავი კალიუმის, ნატრიუმისა და კალციუმის ქლორიდებთან. თვითეული ამ კომპონენტთაგანის პროცენტული რაოდენობა იცვლება გამოსავალი ნედლეულის შედგენილობის, აპარატურის კონსტრუქციისა და წარმოების ტექნოლოგიური სქემის შესაბამისად.

უცხოეთის ქარხნები (გერმანია, ნორვეგია, იაპონია, ჩინეთი, აშშ) ამჟამად ხმარობენ ელექტროლიტს, რომელიც 10—15% მაგნიუმქლორს, 20—40% ნატრიუმქლორს, 5—20% კალიუმქლორსა და 30—40% კალციუმქლორს შეიცავს¹⁵.

¹⁵ აშშ-ის ერთ-ერთი ფირმა დანაშადად იღებს მხოლოდ ლითიუმქლორს, რაც ამ გარემოებით არის გამოწვეული, რომ დიდი ტემპის მიდამოებში აღმოაჩინეს 4—6% ლითიუმქლორისა და 18% მაგნიუმქლორის შემცველი საბადოები (ხსნარის სახით).

ჩვენთან ამ ოციოდე წლის წინათ შესაძლებლად მიიჩნიეს ე. წ. „ნატრიუმ-კალიუმიანი“ ელექტროლიტის გამოყენება. ასეთი ელექტროლიტის საფუძველს წარმოადგენს ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ნაზავი ფარდობით 3 : 5, რომელშიც 10—20% მაგნიუმქლორია გახსნილი. ნაზავი საკმაოდ დაბალ (530—600°) ტემპერატურაზე ღლვება. ბოლო ხანებში კი უპირატესობა მიენიჭა ელექტროლიტს, რომელსაც უფრო მაღალი (615—650°) ღლობის ტემპერატურა აქვს, მაგრამ უკეთესი ტექნოლოგიური მაჩვენებლებით გამოირჩევა; მისი შედგენილობა საშუალოდ ასეთია: 10% მაგნიუმის, 40% კალიუმის, 45% ნატრიუმისა და 5%-მდე კალციუმის ან ბარიუმის ქლორიდი. ასეთ ელექტროლიტზე მუშაობისას დენით გამოსავალი 85%-ს აღწევს, ძაბვა არის 5,75 ვ, ელექტროენერგიის ხარჯი — 14,5 კვტ-ს/კვ, ხოლო შლამის რაოდენობა 0,06 კგ-ს არ აღემატება 1 კგ მაგნიუმზე გადათვლით.

მაგნიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ღლობის დიაგრამაზე აღინიშნება ორი ევტექტიკა (57° და 425°) და კარნალიტის შესაბამისი ქიმიური ნაერთი $MgCl_2 \cdot KCl$. ამას ადასტურებს სისტემის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების — კუთრი წონის, სიბლანტის, პარციალური მოლური მოცულობის, ორთქლის დრეკადობისა და ელექტროგამტარობის ცვლილება შესაბამის წერტილში (სურ. 62). ვარაუდობენ, რომ სისტემაში არსებობს მეორე, ნაკლებად მკვეთრად გამოსახული ქიმიური ნაერთი — $2KCl \cdot MgCl_2$, მაგრამ ეს უკანასკნელი გამლღვალ მდგომარეობაში მაგნიუმის იონებს არ წარმოქმნის 670°-ის ზევითაც კი.

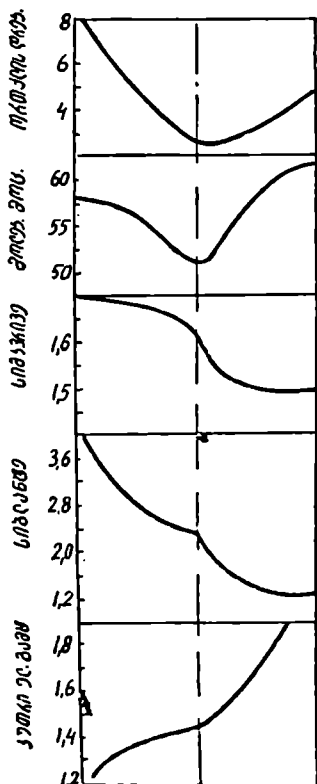
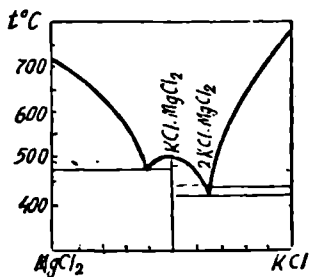


სურ. 61. $MgCl_2$ - KCl -ის ღლობის დიაგრამა.

უმდგრადი ქიმიური ნაერთების წარმოქმნის გამო, ნატრიუმ-კალიუმ-მაგნიუმის ქლორიდების სისტემის სამმაგი დიაგრამა შედარებით რთულია; მასში ღლობის საკმაოდ დაბალტემპერატურიანი (380—400°) სამი ევტექტიკური წერტილია მიკვლეული.

ელექტროლიტის გამოკვლევა ცხადყოფს, რომ ღლობილში შენარჩუნებულია კარნალიტის სტრუქტურა, რომელიც კათიონებად და ანი-

ონებად არის დისოციირებული. მასში გვაქვს მაგნიუმისა და ქლორის თავისუფალი იონებიც.



სურ. 62. ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებების ცვლილება $MgCl_2-KCl$ -ის სისტემაში

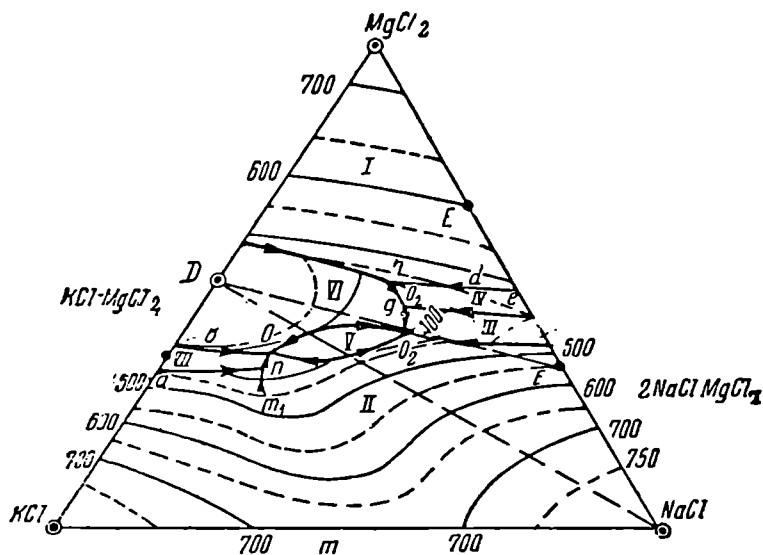
თანდართული დიაგრამა გვიჩვენებს (სურ. 64), რომ მაგნიუმქლორის კონცენტრაციის 100-დან 20%-მდე შემცირებისას დენით გამოსავალი 60-დან 90%-მდე იზრდება. მიზეზი ამისა არის ის, რომ მაგნიუმქლორის მაღალი შემცველობა ხელს უწყობს ქლორის ურთიერთქმედებას გამოყოფილ ლითონთან და ერთვალენტიანი იონების წარმოქმნას. ეს, თავის მხრივ, აძლიერებს სუბიონების დაქანგვის ალბათობას სინესტით, უანგბადით და ანოდური ქლორით, რომელიც თუმცა მცირე რაოდენობით, მაგრამ მაინც არის გახსნილი ლლობილში.

რაც შეეხება დენით გამოსავლის მკვეთრ დაცემას მაგნიუმქლორის კონცენტრაციის 5 — 6%-მდე შემცირების დროს, ეს გარემოება კონცენტრაციული პოლარიზაციით და ტუტე მეტალების იონთა განმუხტვის შესაძლებლობით არის გაპირობებული.

აქედან გამომდინარე თვლიან, რომ მაგნიუმქლორის კონცენტრაცია ლლობილში უმჯობესია 10—20%-ის ფარგლებში იყოს. დენის სიმკვერივე კათოდზე ამ შემთხვევაში უფრო დაბალი სჯობია — 0,4—0,5 ა/სმ².

მაგნიუმქლორის შემცველობის 25%-მდე გაზრდა არა მარტო დენით გამოსავალზე მოქმედებს უარყოფითად, არამედ ერთგვარად აფერხებს ქლორის გამოყოფის

პროცესსაც. სუფრის მარილისა და კალიუმქლორის დამატება 50%-ის ფარგლებში ზრდის ელექტროგამტარობას, ამცირებს ლობილის სიბლანტეს. ელექტროლიტის დასამძიმებლად აუცილებელია აგრეთვე კალიუმქლორის ან ბარიუმქლორის მიმატება. მაგრამ მათი 50%-ზე მეტი შემცველობა ხელს უწყობს ანოდური ეფექტის განვითარებას, ელექტროლიტს ხდის ბლანტსა და ჰიგროსკოპულს.

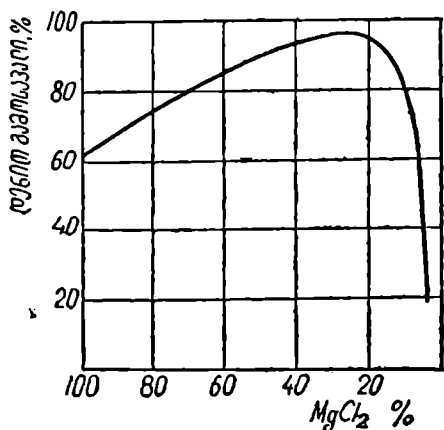


სურ. 63. $MgCl_2$ — KCl — $NaCl$ -ის ლობის დიაგრამა

სუფთა მაგნიუმქლორის დაშლის ძაბვა 700° -ზე არის 2,5 ვ. სხვა მარილებთან შერევისა და კონცენტრაციის 10—15%-მდე შემცირებისას ეს სიდიდე, მართალია, 2,7—2,8 ვ-მდე იზრდება, მაგრამ იგი მაინც ნაკლები რჩება, ვიდრე რომელიმე ამ მარილის დაშლის ძაბვაა. ეს, ცხადია, იმას არ ნიშნავს, რომ ძირითადი კომპონენტის კონცენტრაციის შემცირება უსასრულოდ შეიძლება. მისი შემცველობის 6—7%-მდე დაცემა ნატრიუმის განმუხტვის მომასწავებელია.

პრაქტიკაში ელექტროლიტის გამოცვლის წინ მაგნიუმქლორის შემცველობა 4—5%-მდეც კი დაჰყავთ, მაგრამ ეს იმისათვის, რომ შემცირდეს ნამუშევარი (ნარჩენი) ელექტროლიტის რაოდენობა (მას ამტკრევენ და კალიუმის შემცველ სასუქად იყენებენ).

პროცესისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს კათოდზე გამოყოფილი ლითონისა და ელექტროლიტის სიმკვრივეთა ფარდობას. მყარი მაგნიუმი საგრძნობლად მძიმეა ლობილთან შედარებით და ადვილად იძირება მასში. გამლველ მაგნიუმს კი 650—750°-ის ფარგლებში ნაკლები კუთრი წონა აქვს, ვიდრე კარნალიტს, ხოლო უფრო მაღალ



სურ. 64. დენით გამოსავლის დამოკიდებულება მაგნიუმქლორის კონცენტრაციისაგან ლობილში

ტემპერატურაზე მარილნარევი ხდება მსუბუქი. ნატრიუმის, კალციუმისა და ბარიუმის ქლორიდების დამატებით ელექტროლიტი მძიმდება, რაც ადვილებს მაგნიუმის ამოტივტივებას და მის გამოცალკევებას ელექტროლიტისაგან. მაგრამ ამ შემთხვევაში ელექტროლიტზე მოქცეული მაგნიუმის ზედაპირის ლობილით შესველების უნარი კლებულობს (იხ. სურ. 5) — იგი შიშვლდება და უფრო ადვილად იწვის.

მაგნიუმის წვრილი წვეთების გაერთიანებისათვის მნიშვნელობა აქვს მის ზედაპირულ დაჭიმულობას. თხევადი მაგნიუმი ადვილად განირთხმევა ფოლადის სუფთა ზედაპირზე (სურ. 4 ა).

დენით გამოსავლის სიდიდეზე საგრძნობი გავლენა აქვს ჰიდროდინამიკურ მოვლენებს — ელექტროდებს შორის დაშორებას და ლობილის ცირკულაციას.

მოძრაობის მიზანშეწონილი მიმართულების შერჩევა უზრუნველყოფს მაგნიუმის წვეთების ამოტივტივებას კათოდურ არეში და მათი ანოდური ქლორისაგან გამოცალკევებას.

მინარევეები — სინესტე, ნახშირის შეწონილი ნაწილაკები, სულფატები, რკინაქლორი, მაგნიუმქანგი ამცირებენ დენით გამოსავალს.

სინესტისა და სულფატების მომეტებული შემცველობის შემთხვევაში ელექტროლიტი იწყებს „დუღილს“ — გაძლიერებულ ცირკულაციას, რაც მაგნიუმის წვრილი წვეთების წარმოქმნას და მათ ანოდურ არეში მოხვედრას უწყობს ხელს. სულფატი იწვევს გრაფიტის დაქანგვას და ხელს უწყობს მაგნიუმის ქანგისა და ელემენტური გოგირდის წარმოქმნას, რომელიც კათოდის გაპასივების მიზეზი ხდება; იზრდება პოლარიზაცია, ბრკოლდება მაგნიუმის წვრილი წვეთების ერთმანეთთან შეერთება-გამსხვილება და სხვ.

რკინის ნაერთები აღდგება მაგნიუმით და მისი სუბიონით. წარმოიქმნება ნალექი, რომელიც მაგნიუმის წვეთებსაც წარიტაცებს ლამში. რკინის შემცველობა ელექტროლიტში მავნებელია იმ მხრივაც, რომ მათი განმუხტვის შედეგად ვილებთ ღრუბლოვან რკინას, რომელიც ეკვრის კათოდის ზედაპირს. შემდეგ იგი იელინთება მაგნიუმის ქანგით და წარმოქმნის არაელექტროგამტარ ფენას, ეს კი არღვევს რეჟიმის ნორმალურ მსვლელობას. ასევე უარყოფითად მოქმედებს გამლღვალ ელექტროლიტში მანგანუმის, ალუმინისა და ნიკელის კათიონების არსებობაც.

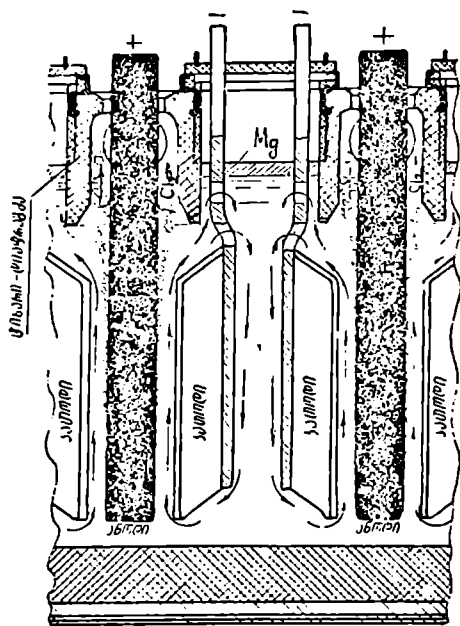
სინესტე ლობილში შეიძლება მოხვდეს არასრულად გაუწყლოებული მარილნარევის ჩატვირთვის შედეგად ან ჰაერიდან — აბაზანის ცული ჰერმეტიზაციის მიზეზით. გარდა იმისა, რომ ხდება წყლის ელექტროლიზი, სინესტე რეაგირებს კათოდურ ლითონთან. წარმოიქმნება მაგნიუმქანგი, რომელიც გადაეკვრება გამოყოფილი ლითონის წვეთის ზედაპირს. ეს კი წვეთების გაბნევას და ლამის წარმოქმნას უწყობს ხელს. დამტკიცებულია, რომ კალციუმისა და ნატრიუმის ფტორიდების, აგრეთვე ტუტემიწა ლითონთა ქლორიდების დამატება შესამჩნევად ზრდის დენით გამოსავალს, ვინაიდან ხელს უწყობს მაგნიუმის წვეთის ზედაპირზე გადაკრული ქანგის გახსნას და მის დესორბციას. ელექტროლიტში გაბნეული წვეთები ადვილად ერთიანდებიან და ამოტივტივდებიან ლობილის ზედაპირზე.

კათოდის გაპრიალეზული ზედაპირი კარგად შესველდება თხევადი მაგნიუმით. წარმოიქმნება მისი დიდი, 10—30 სმ დიამეტრის მქონე და 3—4 სმ სისქის წვეთები, რომლებიც შემდეგ ადვილად წყდებიან კათოდს და ამოტივტივდებიან კათოდურ არეში.

ვინაიდან კათოდების ამოღება, მათი გაწმენდის მიზნით, პრაქტიკულად იწვევს, მიმართავენ ელექტროქიმიურ გაწმენდას: მცირე ხნით მკვეთრად, 1%-მდე ამცირებენ მაგნიუმქლორის შემცველობას ელექ-

ტროლიტში. ამ დროს კათოდზე განიმუხტება ნატრიუმი. იგი ხსნის მკვნე ფენას კათოდის ზედაპირიდან. შემდეგ მაგნიუმქლორის შემცველობა ისევ ნორმალურ დონემდე აპყავთ და გამოყოფილი ლითონი უკვე კარგად ასველებს ელექტროდის გაწმენდილ ზედაპირს.

ს ა ე ლ ე ქ ტ რ ო ლ ი ზ ო ა ბ ა ზ ა ნ ა . ანოდური და კათოდური პროდუქტების ერთი მიმართულებით გამოყოფა გარკვეულ უხერხულობას ქმნის საელექტროლიზო აბაზანების კონსტრუირების საქმეში. საჭირო ხდება ანოდური და კათოდური არეების სიამედოდ გაცალკეება დიაფრაგმით ისე, რომ დენის გადატანა დაუბრკოლებლად ხდებოდეს.



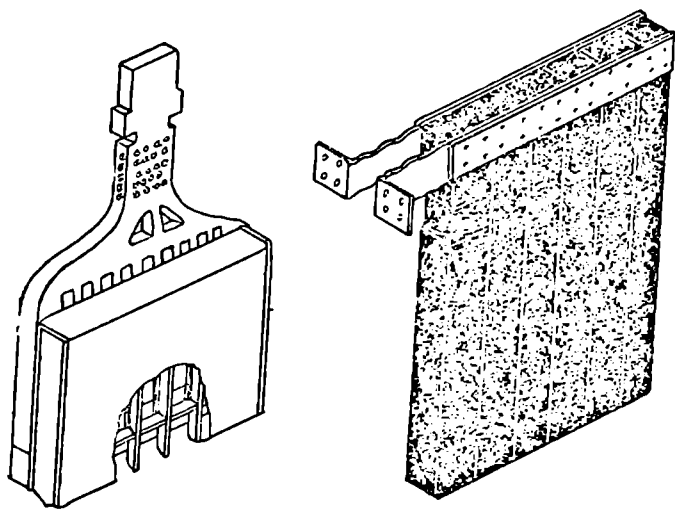
სურ. 65. ელექტროლიტის ნაკადის მოძრაობა კათოდსა და ანოდს შორის.

თანამედროვე აბაზანები დენის დიდ — 150 კა-მდე ძალაზეა გათვლილი. ელექტროლიტის გამლღვალ მდგომარეობაში შენარჩუნება სწორედ ამ დენის მეშვეობით ხორციელდება.

დიაფრაგმიანი ელექტროლიზერები ძირითადად ანოდური კვანძის კონსტრუქციით განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. გრაფიტის ბლოკებისაგან შეკრული ანოდები შეიძლება ზევიდან იყოს ჩადგმული ან ჩაშენდეს აბაზანის კედელში.

პირველ შემთხვევაში ძაბვა ელექტროდებზე და ელექტროენერგიის ხარჯიც უფრო მაღალია, მაგრამ ანოდის გამოსაცვლელად, რაც ყოველ 9—10 თვეში ხდება, აბაზანის გაჩერება არ არის საჭირო. ელექტროლიზერი მუშაობს წლობით. მისი ზომების გაზრდა შეიძლება სიგანეში. არის მძლავრი აბაზანების შექმნის პერსპექტივები.

ქვევიდან ან გვერდით კედელში დამონტაჟებული ანოდების ხარჯი გაცილებით ნაკლებია და ანოდებიც ორჯერ მეტხანს მუშაობს, მაგრამ მათი გამოცვლა ერთობ მოუხერხებელია — ამისათვის მთელი აბაზანის გამორთვა და მისი კაპიტალური რემონტია საჭირო. გამლველი



სურ. 66. დიაფრაგმიანი აბაზანის კათოდისა და ანოდის ბლოკები

ელექტროლიტი შედარებით ადვილად აზიანებს დენის მიმყვან კონტაქტს (თუჯის ჩანაახამს), რის გამოც რკინა ხვდება ელექტროლიტში. ის ამცირებს დენით გამოსავალს. გარდა ამისა, შეზღუდულია აბაზანების გაგანიერების შესაძლებლობა — იზრდება ძაბვა და სხვ.

დიაფრაგმით შემოფარგლული ანოდური არე აირშემკრების როლსაც ასრულებს. ყოველი უჯრედი მიერთებულია ქლორის საერთო კო-

ლექტორთან, რომელშიც მცირე გაიშვიათებდა — გარემოს დააირიანების თავიდან აცილების მიზნით. როგორც ანოდები, ისე კათოდები ვერტიკალურად არის განლაგებული. ფოლადის კათოდის ნაპირები აცირედ შეღუნულია ანოდისაკენ.

მაგნიუმის საელექტროლიზო საამქრო 200—300 მ სიგრძის შენობას წარმოადგენს. აბაზანები განლაგებულია ორ რიგად. თითოეულ საამქროში 100-მდე აბაზანაა დამონტაჟებული. ყოველი მათგანი დიდი რაოდენობით სითბოს გამოყოფს გარემოში (150 მკალ), რისთვისაც ინტენსიური, 20—30-ჯერადი განიავებაა საჭირო.

ანოდურ აირებში ქლორის შემცველობა მხოლოდ 80%-ს აღწევს. აბაზანის კედელში დატნეულია ღარი, რომლითაც თხევადი მაგნიუმში საერთო შემკრებში გადადინდება. სწორედ ამ საერთო შემკრებიდან ამოისრუტება ლითონი ვაკუუმციცხვით დღელამეში ერთხელ.

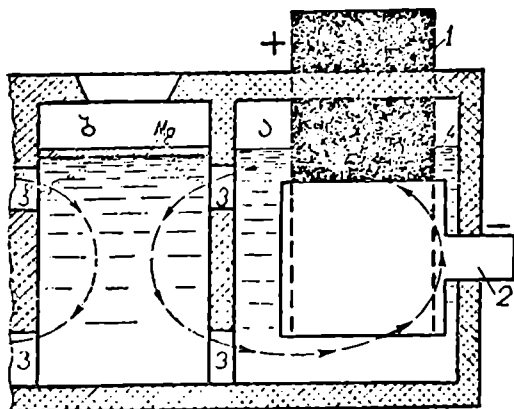
აბაზანის კვება ახალი ელექტროლიტით (უწყლო კარნალიტით ან გამლღვალი მაგნიუმქლორით) ყოველ 6 საათში ხდება. შრომატევად ოპერაციად ითვლება აბაზანის ფსკერზე დაგროვილი შლამის ამოღება, რაც ბოლო დრომდე ხელით (ნიჩბებით) წარმოებდა.

მაგნიუმის მეტალურგიამ როგორც ნედლეულის გადამუშავების, ისე სუფთა ლითონის მიღებისა და ნაკეთობათა დამზადების ყველა საფეხურზე უკანასკნელ წლებში ძირეული ცვლილებები განიცადა. განსაკუთრებით ეს ითქმის საელექტროლიზო აბაზანის კონსტრუქციაზე. საყოველთაოდ მიღებული დიაფრაგმიანი აბაზანები, მართალია, ამჟამად დენის დიდი დატვირთვით მუშაობენ, დაინერგა არადეფორმირებადი კათოდები, რამაც თითქმის ორჯერ (12—15-დან 7—8 სმ-მდე) შეამცირა ელექტროდებს შორის მანძილი, საკმაოდ გაიზარდა ანოდის სიგანე და სხვ., მაგრამ საბჭოთა ინჟინრებისა და მეცნიერ-მკვლევართა მიერ შემოთავაზებულ და წარმატებით დანერგილ უდიაფრაგმო აბაზანებს კიდევ უფრო მალალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები აღმოაჩნდათ: დენით დატვირთვამ 160 კა-ს მიაღწია, შემცირდა ენერგეტიკული ხარჯები, გაუმჯობესდა შრომის პირობები, პროცესი გახდა უწყვეტი, დაინერგა ავტომატიზაცია.

უდიაფრაგმო ტიპის აბაზანაში (სურ. 57) ელექტროდები განლაგებულია ელექტროლიტის მთელ მოცულობაში; პროცესის მიმდინარეობის დროს ელექტროდებს შორის არეში წარმოიქმნება აირისა და სითხის ნარევის მიმართული ცირკულაცია; მაგნიუმის წვეთები თანდათან ერთიანდებიან და გამოცალკევდებიან ქლორის ბუმბულაკებისაგან. შემკრები უჯრედი ელექტროლიზის განყოფილებისაგან გამოყოფილია პიდროსაკეტით — ლობილში ნაწილობრივ ჩაძირული კერამიკული ტიხრით. ქლორის აირსადენი აბაზანის ბეტონის გადახურვა-

შია მოთავსებული. შემკრებიდან ხდება როგორც ლითონის, ასევე ნამუშევარი ელექტროლიტისა და ლამის მოცილება, აგრეთვე წელღეულის დამატება.

კათოდები — შედუღებული ფოლადის ჩარჩო ($0,9 \times 1,0 \times 0,06$) სტაციონარულად არის ჩადგმული გამლღვალ ელექტროლიტში. კათოდებს შორის მოთავსებულია ანოდი. დენის მიყვანა კედელში ჩამაგრებული შტანგებით ხორციელდება.



სურ. 67. საბჭოთა უდიაფრაგმო აბაზანის სქემა: ა — სამუშაო უჯრედი; ბ — შემკრები უჯრედი. 1 — ანოდი; 2 — კათოდი; 3 — გადასადენი არხები; 4 — ელექტროლიტის დონე

უფრო მიზანშეწონილად არის მიჩნეული ანოდების გვერდით კედელში დატენვა, რაც რამდენჯერმე ამცირებს აბაზანის გაჩერება-გაშვების პერიოდს, ზრდის მათი მუშაობის ხანგრძლივობას და დენით დატვირთვას, ამცირებს პროდუქტის თვითღირებულებას. ანოდის თუჯის ჩანასხამი გარედან გრაფიტის ფილებით არის დაფარული.

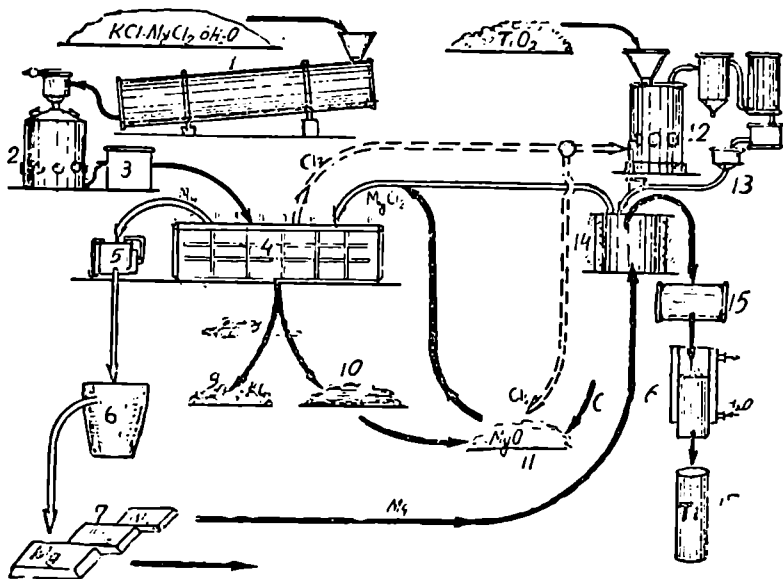
ელექტროდებს შორის მანძილი არის 12 სმ, დენის სიმკვრივე კათოდზე შედარებით დაბალია ($0,19-0,03$ ა/სმ²), ხოლო ძაბვა ელექტროდებზე 5 ვ-ს არ აღემატება.

დენით გამოსავალი 85%-ის ფარგლებშია, ელექტროენერგიის ხარჯი — 10—14 მეტ-ს/ტ.

თანამედროვე უდიაფრაგმო აბაზანები საშუალებას იძლევა ვიმუშაოთ 8—16% $MgCl_2$ -ის შემცველი ელექტროლიტით ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ექვიმოლარულ ნარევეში და კვებობთ ელექტროლიზური ტიტანის წარმოების ნარჩენი $MgCl_2$ -ით.

არასასურველი მინარევების ძირითადი მასა (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2) ელექტროლიტს ცილდება ლამთან ერთად.

მაგნიუმის რაფინირებას ახდენენ ზარისებრი ტიპის ან მრავალკამერიან უწყვეტი ქმედების ლუმლებში (სურ. 68). სააუთი რაფინირებისათვის მიმართავენ ლიგატურების ან ქლორწარმოებულების დამატებას.



სურ. 68. მაგნიუმისა და ტიტანის წარმოების კომპლექსების სქემა

ლობისა და ტრანსპორტირების დროს თხევადი მაგნიუმის ზედაპირს ფარავენ ფლუსებით. უფლუსო დნობა გოგირდის ჰექსაფტორიდით ხდება.

მაგნიუმის დანაკარგების შემცირებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ლამების დაქლორვის პროცესისა და კარნალიტის გადანობის ტექნიკის სრულყოფას, ქლორატორის გამავალი აირების გამოყენებას პიროლიზის პროდუქტების დაქლორვისათვის. დანაკარგები მკვეთრად შეამცირა რაფინირებისათვის დიდგაბარიტიანი ლუმლებისა და შემრეველების გამოყენებამ.

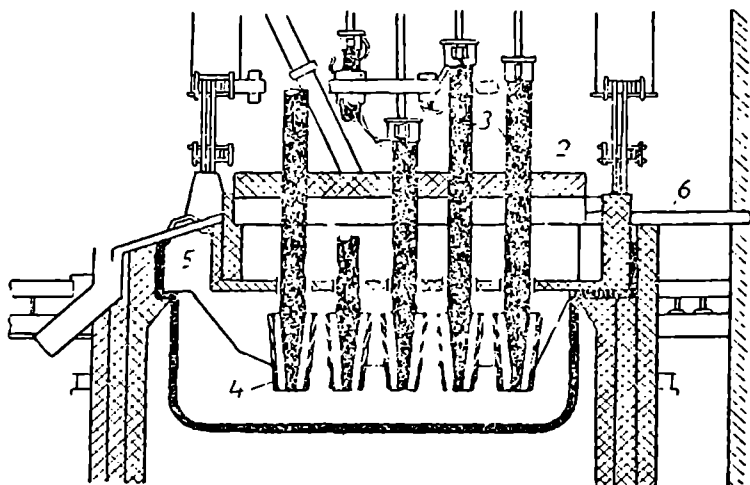
გამლვალ ლამისა და ელექტროლიტის გაწმენდა ხდება დაწდომით, რის შედეგადაც ლობილის 85% ბრუნდება ელექტროლიზერში.

მ. გენუმის მიწალები : ელექტროლიზების ტიპები და ელექტროლიტის შედგენილობა

ფაბრა, რეკონი	ელექტროლიზური		ნ. დღეული	ელექტროლიტის შედგენილობა, %						ელექტროლიტის კონცენტრაცია			მ. გენუმის მიწალების ტიპები		
	ტიპი	დენი, ა		MgCl ₂	CaF ₂	LiCl	NaCl	KCl	CuCl ₂	ტ, °C	მ. გენუმის მიწალების ტიპები	მ. გენუმის მიწალების ტიპები		მ. გენუმის მიწალების ტიპები	
Dow Chemical Co. (აშშ, ტენესის შტ.)	უდიოფრ.	150-180	ზღვის წყალი	8-20	0,25-0,45	30-90	-	-	-	700	6	1,0	0,7	80	10-11
N. L. Industries (აშშ, ოტაჰაუა)	უდიოფრ.	150	მარილ-წყვი	15	-	50	5	10	20	700	6,2	1,0	0,8	80	12
Norsk Hydro (ნორვეგია, ჯ. სპიტი)	დიოფრ.	62-90 (150)	ზღვის წყალი	8-24	-	-	20	-	40	720-740	6,15	0,9	0,7	85-90	16-18
სსრკ: კარნალოვან ელექტროლიტი	უდიოფრ.	150	კარნალოვან	10	0,3-0,2	-	8-13	75-80	-	-	-	-	-	-	-
ქლორმანუმის ელექტროლიტი	უდიოფრ.	150	ტირანის ქლორმანუმის ნაჩენი	10	0,3-0,2	-	15-50	35-40	2-4	670-690	4,5-5,2	1,0	0,7	78-85	13-15
სინთეზური კარნალოვანი	უდიოფრ.	150	კარნალოვან	9	-	-	20	68,5	2,5	-	-	-	-	-	-

გრაფიტის ანოდების დაუანგვისაგან დაცვის მიზნით, მათ წინასწარ ამუშავებენ მეტაფოსფატის ლობილში, ხოლო შემდეგ ფარავენ სილიკორგანული ნაერთებით; ეს 30—40%-ით ზრდის მათი მუშაობის ხანგრძლივობას.

ტიგელის ტიპის ელექტროლიზერი. მაგნიუმის ელექტრომეტალურგიაში, როგორც ცნობილია, ძნელ და არასასიამოვნო ოპერაციად ითვლება მაგნიუმქლორის გაუწყობება, განსაკუთრებით წყლის უკანასკნელი კვალის მოცილება. ნაცადი იყო დაქლორვის პროცესის თვით აბაზანაში ჩატარება — მაგნიუმის უანგის ანოდურ არეში მიწოდებით, მაგრამ უშედეგოდ.



სურ. 69. მოდერნიზებული უდიაფრაგმო აბაზანა (ფირმა „Dow Chemical CO.“)

- 1 — ფოლადის ვარცლი; 2 — კერამიკის ფილა; 3 — ანოდები; 4 — კათოდები;
5 — კამერა მაგნიუმისათვის; 6 — გაზის გაწოვა

ამ მხრივ ყურადღებას იმსახურებს ცნობილი ამერიკული ფირმის „Dow Chemical Co“-ის მიერ დამუშავებული ტიგელის ტიპის მოდერნიზებული ელექტროლიზერი (სურ. 69). მას საკმაოდ განსხვავებული კონსტრუქციული ელემენტები აქვს. იგი წარმოადგენს ფოლადის ქვაბს, რომელიც ნაწილობრივ გარედან ცხელდება. გრაფიტის ან ნახშირის ელექტროდები ზევიდან არის ჩაშვებული კონუსური ფორმის ფოლადის კათოდებში. მათ ანოდისაკენ დახრილი ჰკრილები (ნასვრეტები) აქვთ.

ელექტროლიტის ნაკადი კათოდზე გამოყოფილ მაგნიუმს ამ კრი-
ლებიდან გარეთ იტაცებს და იგი იზოლირებულ შემკრებში გროვდება,
რომელიც მთლიანად ელექტროლიტშია ჩაძირული.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ აბაზანას არასრულად გაუწყობებუ-
ლი მარილით ($MgCl_2 \cdot 1,5H_2O$) კვებავენ. იგი გრანულების სახით მი-
ეწოდება ანოდურ არეს, სადაც ხდება მისი საბოლოო დაქლორვა.

ამ ტიპის აბაზანა დენის საკმაოდ დიდ ძალაზეა (90 კა) გათვლილი.
დენით გამოსავალი 77%-ს აღწევს.

ამ პროცესის ნაკლად ითვლება გრაფიტის შედარებით დიდი ხარჯი,
რაც 100 კგ აღწევს ერთ ტონა მაგნიუმზე.

მაგნიუმის შენადნობების მიღება ელექტრო-
ლიზით. ელექტროლიზით ადვილად ხერხდება აგრეთვე მაგნიუმის
შენადნობების მიღება რომელიმე მძიმე ლითონის — ტყვიის, ალუმინ-
ის, თუთიის ან სპილენძის თხევად კათოდზე. ელექტროლიტად იღებენ
მაგნიუმქლორის ნაზავს ნატრიუმის ან კალიუმის ქლორიდთან. პრაქტი-
კული ინტერესის მქონეა ამ ხერხით მაგნიუმ-ალუმინის შენადნობების
მიღება. სისტემა შედარებით დაბალი ღირებულების ტემპერატურით ხასი-
ათდება; მაგნიუმის შემცველობა მასში 91%-მდე შეიძლება იყოს. შე-
ნადნობებს იყენებენ როგორც ლიგატურას სხვა საჭირო შენადნობე-
ბის ან სუფთა მაგნიუმის მიღების მიზნით (მაგალითად, გამოხდით).

ელექტროლიზის პროცესს საკმაოდ ართულებს მაგნიუმის ენაგის
შლამი, რომელიც კათოდის ზედაპირს გადაეკრება ხოლმე.

მაგნიუმის შემდგომი გადამუშავება. ელექტრო-
ლიზური ხერხით მიღებული მაგნიუმი არასასურველ მინარევებს შე-
იცავს, რაც მის კოროზიამედეგობას ძლიერ აქვეითებს.

რკინა და ალუმინი მაგნიუმში გადადის პირდაპირი განმუხტვის გა-
მო. კალიუმი და ნატრიუმი (0,2%) გამოიყოფა მაგნიუმქლორის დაბა-
ლი კონცენტრაციის ან დენის დიდი სიმკვრივის დროს; მათი დაცილე-
ბა დაქლორვით შეიძლება.

მექანიკური მინარევების საერთო რაოდენობა 2—3%-ს აღწევს.
განსაკუთრებით არასასურველია მაგნიუმქლორი, რომელიც, ჰიგრო-
სკოპულობის გამო, ენერგიულად იზიდავს სინესტეს. წარპოქმნილი
მარილმკვავა საგრძნობლად აზიანებს მაგნიუმის ზოდს.

„ნედლი“ მაგნიუმი შეიცავს აგრეთვე 0,6%-მდე სილიციდებს; ნიტ-
რიდის, ჰიდრიდისა და კარბიდის საერთო შემცველობა კი 0,05%-ს
არ აღემატება.

სტანდარტით მაგნიუმში მინარევების ძალიან მცირე რაოდენობაა
დასაშვები, რის გამოც საჭირო ხდება ელექტროლიზური ხერხით მი-

ლებული მაგნიუმის გადამუშავება-რაფინირება გადადნობით, სუბლ-
მაციით ან დისტილირებით.

ქარხნის პრაქტიკაში მომეტებულად მიმართავენ გადადნობით რა-
ფინირებას ფლუსის ქვეშ. ამ დროს ხდება არალითონური მინარევე-
ბისა და მექანიკური ჩანართების მოცილება.

ფლუსის დანიშნულება ორგვარია:

1. დაიცვას გამლღვალი ლითონის ზედაპირი ჰაერთან შეხებისა და
დაჟანგვისაგან.

2. ქიმიურად იმოქმედოს „ნედლ“ მაგნიუმში შეცულ მინარევებ-
თან და მოახდინოს მათი გახსნა ან დაწიდება.

ფლუსების რეცეპტი მრავალია. ყოველ მათგანში 55%-ზე მეტი
რაოდენობით გათვალისწინებულია უწყლო მაგნიუმქლორი, რომელიც
ქიმიურად ურთიერთქმედებს ტუტე ლითონებთან და მაგნიუმის ნიტ-
რიდთან (Mg_3N_2). ფლუსში შედის აგრეთვე ნატრიუმისა და კალიუმის
ქლორიდები, ალუმინის, კალციუმის, ნატრიუმის ფტორიდები, რომ-
ლებიც ხსნიან მაგნიუმის ქანგს. მიღებული MgF_2 ადვილად შორდება
მაგნიუმს.

არევა ხდება ფლუსთან ერთად ნახევარი საათის განმავლობაში.
შემდეგ აცილებენ წიდას, უმატებენ ძნელღობად „შემასქელებელს“,
ახურებენ 800—850°-ზე, რათა მინარევეები კარგად ამოტივტივდეს:
აცივებენ 670°-მდე, ამტვრევენ ქერქს და მაგნიუმს ასხამენ შოთებად.
შოთებს ზვიდან შეიძლება ქანგის აკვი ეკრას, რასაც სუსტ აზოტმეა-
ვაში გარეცხვით აცილებენ; ლითონს რეცხავენ ცივი წყლით, აშრობენ
და გზავნიან საწყობში.

გადადნობის დროს 5%-მდე ლითონი იკარგება. ფლუსის ხარჯია
50 კგ, ხოლო ელექტროენერჯისა — 9500 კვტ-ს/ტ მაგნიუმზე.

რაფინირება გამოხდით. გამოხდა შეიძლება სუბლიმი-
რებით ან ვაკუუმში დისტილირებით. ორივე შემთხვევაში ორთქლის
დრეკადობას ვაკუუმის მეშვეობით სწევენ დაბლა 0,1—0,2 მმ-მდე
(ვ. წ. სვ.). მაგნიუმის, ნატრიუმისა და კალიუმის ქლორიდების ორთ-
ქლის დრეკადობა მეტია, ვიდრე მაგნიუმისა, ხოლო რკინის, ქანგბა-
დის, მაგნიუმის, სპილენძისა და სხვა ლითონების ორთქლის დრეკა-
დობა ნაკლებია, ამიტომ ჯერ პირველების ამოორთქლევა ხდება.

სუბლიმირებული მაგნიუმი ბრჭყვიალა მსხვილკრისტალური მტეე-
ნების სახით კონდენსირდება სარეაქციო რეტორტაში ჩადგმული ცი-
ლინდრის ზედაპირზე; მიღებული მასის ზედა და ქვედა ნაწილი გა-
ჰუჰუყიანებულია მინარევეებით, ამიტომ მათ შემოჭრიან და ხელმეორედ
აბრუნებენ გამოსახდელად.

სუფთა მაგნიუმის გამოსავალი 80%-ს აღწევს.

დისტორირებისათვის აიღება როგორც „ნედლი“ (ელექტროლიზით მიღებული) მაგნიუმი, ისე ნარჩენები და შენადნობები.

რ ა ფ ი ნ ი რ ე ბ ა ე ლ ე კ ტ რ ო ლ ი ზ ი თ. მას შემდეგ, რაც მრეწველობაში ფართოდ დაიწყეს მაგნიუმის შენადნობების გამოყენება, წარმოიშვა მათი ნარჩენების გამოყენების პრობლემა. იმის გამო, რომ რაფინირება გამოხდით პერიოდული, ძვირი და ნაკლები მწარმოებლობის მქონე პროცესია, ამასთან ერთად თუთიისაგან განთავისუფლების საშუალებასაც არ იძლევა, ამიტომ ჯერ კიდევ 30-იან წლებში დაიწყეს მაგნიუმის ელექტროლიზური რაფინირების მეთოდის შემუშავება. საბოლოოდ ეს ხერხი ამ ოციოდე წლის წინათ დაინერგა.

ისევე, როგორც ალუმინის შემთხვევაში, მაგნიუმისათვისაც სამფენიანი ელექტროლიზის პრინციპს იყენებენ. აბაზანის ძირზე თავსდება რაფინირებისათვის განკუთვნილი შენადნობი, რომელიც ანოდის როლს ასრულებს. ამ შენადნობის კომპონენტები ისეა შერჩეული, რომ მათი გამოყოფის პოტენციალებს უფრო დადებითი მნიშვნელობა ჰქონდეთ, ვიდრე რაფინირებისათვის განკუთვნილ მაგნიუმს.

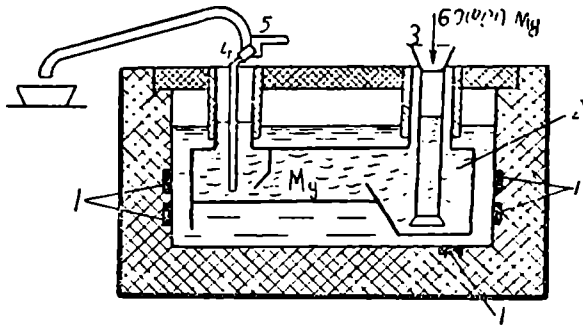
ასეთ მინარევად შეიძლება ვიგულისხმოთ სპილენძი, თუთია ან ტყვია, რომლებიც უფრო დადებითი პოტენციალის გარდა. საკმაოდ დიდი კუთრი წონითაც ხასიათდებიან და კარგად ამძიმებენ ანოდურ შენადნობს. რაც შეეხება ელექტროლიტს, მასში მხოლოდ ისეთი კათიონები შეიძლება გვექნდეს, რომელთაც მაგნიუმის განმუხტვის პოტენციალზე უფრო უარყოფითი პოტენციალი ექნებათ. ამასთანავე ელექტროლიტის სიმკვრივე საკმაოდ უნდა აღემატებოდეს მაგნიუმის სიმკვრივეს.

ამგვარად, ელექტროლიზური რაფინირების არსი ანოდზე მაგნიუმის იონების წარმოქმნასა და მათი კათოდზე შერჩევით განმუხტვაში მდგომარეობს.

ელექტროლიზის პროცესის უკეთ მიმდინარეობისათვის მნიშვნელობა აქვს მაგნიუმის იონების ადვილი დიფუზიის შესაძლებლობასაც, რათა არ მოხდეს ელექტროლიტის იმ ფენის გადაჯერება მაგნიუმის კათიონებით, რომელიც ანოდის ზედაპირთან არის შეხებაში. წინააღმდეგ შემთხვევაში ლლობილში გადავა უფრო ელექტროდადებითი პოტენციალის მქონე იონები, რომლებიც შემდეგ განიმუხტებიან კათოდზე, მით უმეტეს, რომ ისინი ადვილად წარმოქმნიან შენადნობს მაგნიუმთან. ასევე არასასურველია რაფინირებისათვის განკუთვნილი ლითონის იონების კონცენტრაციის შემცირება ელექტროლიტში.

ამგვარად, ანოდსა და კათოდზე მიმდინარე პროცესები მკიდროდ არის დაკავშირებული ერთმანეთთან.

დიდი მნიშვნელობა აქვს აბაზანის ჰერმეტიზაციას, რათა გაზო-
ირიცხოს მაგნიუმის ერთვალენტიანი იონების დაჟანგვა ჰაერის ჟანგ-
ბადით და ჟანგის წარმოქმნა. ეს უკანასკნელი ანოდური შენადნობის
ზედაპირზე ილექება და, საგრძნობი ელექტროფინალობის გამო, არ-
თულებს პროცესის მსვლელობას.



სურ. 70. ზარის ტიპის ღუმელი მაგნიუმის რაფინირებისათვის.
1 — ელექტროდები; 2 — ზარხუფი მაგნიუმით; 3 — მილყელი სედლი
მაგნიუმის მისაწოდებლად; 4 — მილყელი მაგნიუმის ამოსაღებლად;
5 — ელექტრომაგნიტური ტუმბო

ელექტროლიტს ჰიდროლიზის ნაკლები უნარი უნდა ახასიათებდეს,
ხოლო ზედაპირული დაკიმულობა მაგნიუმისა და ლლობილის გამყოფ
ზედაპირზე გაცილებით ნაკლებ მნიშვნელობას უნდა აღწევდეს, ვიდრე
ჰაერთან შეხებისას. ამ შემთხვევაში თხევადი მაგნიუმში ყოველთვის
ელექტროლიტის თხელი დამცველი შრით იქნება დაფარული.

ნაკლები სიბლანტისა და უკეთესი ელექტროგამტარობისათვის
ელექტროლიტის პირველადი კრისტალიზაციის ტემპერატურა 100° -ით
ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე პროცესის მიმდინარეობის ტემპერატურაა.

ყველა ამ მოთხოვნას შედარებით კარგად აკმაყოფილებს ელექტრო-
ლიტი, რომელშიც 10—15% მაგნიუმის, 10% ბარიუმის, 30—40%
კალიუმისა და 40—50% ნატრიუმის ქლორიდია.

რაფინირებისათვის გამოყენებულია „ნედლი“ მაგნიუმი ან შენად-
ნობები, რომლებიც 6,5—14%-მდე თუთიას და მცირე რაოდენობით
მანგანუმს, სპილენძს, სილიციუმს, ნიკელსა და რკინას შეიძლება შე-
იცავდეს. ანოდურ შენადნობებს ემატება დამამძიმებელი — თუთია,
სპილენძი ან ტყვია. ამ უკანასკნელთა პოტენციალი ისეთია, რომ მაგ-

ნიუმის 70%-მდე ამოღების შემთხვევაშიც კი უჯრედის ემბ თითქმის უცვლელი რჩება და კათოდური ლითონის ხარისხი არ უარესდება.

ანოდური შენადნობის ასეთი შედგენილობა მოსახერხებელია იმ მხრივაც, რომ სილიციუმი, სპილენძი და მანგანუმი მაგნიუმთან წარმოქმნიან ძნელად ინტერმეტალურ ნაერთებს, რომლებიც მყარი სახით გამოკრისტალდებიან და ადვილად შეიძლება მოვაშუროთ შენადნობს.

თვით საელექტროლიზო აბაზანა წარმოადგენს ოთხკუთხა ვარცლს. რომელიც თიხამიწის აგურით არის ამოგებული. მაგნიუმით მდიდარი შენადნობის ახალი კერძის დასამატებლად მას აქვს სპეციალური „ჯიბე“. კათოდი წარმოადგენს ფოლადის ასაწვევ-დასაწვევ ფირფიტას (შენადნობების გადამუშავების შემთხვევაში) ან კედელში დატანებული გრაფიტის სარტყელს (ნელდი მაგნიუმის რაფინირებისათვის);.

პროცესი 700—720°-ის ფარგლებში მიმდინარეობს. ტემპერატურის უფრო მაღლა აწვევა სასურველი არ არის, ვინაიდან ამ დროს თუთია გადადის ელექტროლიტში და კათოდურ ლითონში.

ძაბვა 4—4,5 ვ-ს აღწევს. დენის სიმკვრივე კათოდზე არის 0,8, ხოლო ანოდზე — 0,7 ა/სმ². ანოდსა და კათოდს შორის დაშორება (ე. ი. ელექტროლიტის ფენის სისქე) საკმარის მცირეა — 10—12 სმ-ს არ აღემატება. დენით გამოსავალი კათოდზე 95%-მდე შეიძლება იყოს. ელექტროენერგიის ხარჯი არის 9,5—10 კვტ-ს/კვ ლითონზე.

რაფინირებული ლითონი საკმარის სუფთაა — ამა თუ იმ მინარევის შემცველობა მხოლოდ პროცენტის მეათასედის ფარგლებშია.

ელექტროლიზური რაფინირებით უფრო სუფთა და 1,6-ჯერ იაფი ლითონი მიიღება, ვიდრე ვაკუუმში გამოხდით. დანადგარებს გაცილებით დიდი წარმადობა შეიძლება ჰქონდეს.

კ ა ლ ც ი უ მ ი

ტუტემიწა მეტალები — კალციუმი, სტრონციუმი და ბარიუმი, დ. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში მდებარეობის შესაბამისად, მკაფიოდ გამოსახული მეტალური თვისებებით ხასიათდებიან.

კალციუმი ერთ-ერთი საკმარის მსუბუქი ლითონთაგანია (კ. წ. 1,55). ტექნიკური ლითონი ადვილად იუანგება ჰაერზე, მაღალი სისუფთავისა კი საკმარის მედეგია.

კალციუმის მიღება, ისევე, როგორც საერთოდ თითქმის ყველა ქიმიურად აქტიური მსუბუქი ლითონისა, გარკვეულ ტექნოლოგიურ სინდნელესთან არის დაკავშირებული და მისი ძვირფასი თვისებებისა და

* მინერალების უაღრესი გავრცელების მიუხედავად¹⁶, მსოფლიო წარმოება მხოლოდ რამდენიმე ათეული ტონით შემოიფარგლება.

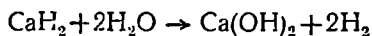
მაგრამ კალციუმის ელექტრომეტალურგია ტექნიკურად საინტერესოა და ერთ-ერთ განსხვავებულ ელექტროლიზურ პროცესად ითვლება ე. წ. „მებები კათოდის“ მეთოდის გამოყენების გამო.

კალციუმის ელექტროლიზური გზით მიღების პირველი ცდები ჰ. დევის (1808), ი. ბერცელიუსსა და მ. ფარადეის ეკუთვნით. თუმცა ეს ცდები უშედეგო აღმოჩნდა, მაგრამ ჰ. დევი იმდენად იყო დარწმუნებული ამ ლითონის არსებობაში, რომ სახელიც კი შეარქვა.

ატომგულური ენერგეტიკის გარიჟრაჟზე კალციუმის წარმოება საქმოდ ფართოდ გაიშალა, ვინაიდან მას ლითონური ურანის აღსადგენად იყენებდნენ.

გამოყენება. 1. ტუტემიწა ლითონების გამოყენების ძირითად სფეროს განსაზღვრავს მათ მიერ აირებისა და ორთქლების ენერგიულად შთანთქმის უნარი — მტკიცე ქიმიური ნაერთების წარმოქმნით. ამ მხრივ კალციუმი ერთ-ერთ საუკეთესო „გეტერ“-ლითონად¹⁷ ითვლება.

2. კალციუმი შეიძლება გამოვიყენოთ წყალბადის ტრანსპორტირებისათვის. მისი ერთეული მოცულობა 1000-მდე მოცულობა წყალბადს შთანთქავს; წარმოიქმნება ჰიდრიდი, რომელიც წყალთან ურთიერთქმედებისას წყალბადს გამოყოფს:



ფოლადის ბალონებით გადატანის შემთხვევაში წყალბადი ტვირთის წონის მხოლოდ 0,9%-ია, კალციუმჰიდრიდის ტრანსპორტირების შემთხვევაში კი 9,5%-ს შეადგენს. ეს გარემოება მეტად მნიშვნელოვანია წყალბადის ენერგეტიკული და ნაირგვარი ტექნიკური მიზნებით გამოყენების შემთხვევაში.

3. კალციუმჰიდრიდი ამასთანავე ძლიერი აღმდგენელია. ნერაუბიდან იგი ისეთ ლითონებსაც კი აღადგენს, როგორცაა ტიტანი, ვანადიუმი და სხვა ძნელლლობადი იშვიათი ლითონი.

¹⁶ მიწის ქერქში გავრცელებით კალციუმს რკინის მომდევნო მეხუთე ადგილი უკავია (კლარკია 3,25%). კალციუმის ძირითადი მინერალები — კირქვები CaCO_3 და დოლომიტები $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ მილიარდი ტონობით მოიპოვება თითქმის ყველგან.

¹⁷ მექანიკური მეთოდებით გაიშვიათების უმეტეს უფრო ღრმა ვაკუუმის შექმნის მაჩინით (10⁻⁵—10⁻⁷ მმ ე. წ. სვ.) ამა თუ იმ ვაკუუმხელსაწყოში (რადიო- და რენტგენის ნათურები და სხვ.) შეკავთ ისეთი ლითონის („გეტერის“) მცირე ოდენობა, რომელიც ენერგიულად შთანთქავს ნარჩენ ან ხელსაწყოს მუშაობის შედეგად გამოყოფილ აირებს.

4. ლითონურ კალციუმს წარმატებით იყენებენ ორგანული ნაერთების, კერძოდ (ალკოჰოლის) გაუწყლოებისას.

5. ქიმიური აქტივობის გამო კალციუმი გამოიყენება ფერად ლითონთა მეტალურგიაში განმჟანგველად (ტყვიის განთავისუფლება დარიშხანის, სტიბიუმის, ვერცხლისა და ბისმუტის¹⁸ მინარევებისაგან, რაც სხვა მეთოდით არ ხერხდება).

6. კალციუმს უმატებენ სპილენძს მექანიკურ თვისებათა გასაუმჯობესებლად და ალუმინს — ელექტროგამტარობის გასაძლიერებლად (ბისმუტის შებოჭვის ხარჯზე). კალციუმის მცირე დანამატი ზრდის ტყვიის სისალეს პლასტიკურობის შემცირების გარეშე — იგი უფრო წვრილკრისტალური ხდება.

7. ფოლადებისა და თუჩების მეტალურგიაში კალციუმისა და სხვა ტუტემიწა ლითონების ლიგატურას ხმარობენ, როგორც დეგაზატორს გოგირდისა და ფოსფორის მოსაცილებლად.

8. ქრომის, ურანის, თორიუმისა და სხვა იშვიათი ლითონების ჟანგულებსა და ფტორიდებს კალციუმი ლითონამდე აღადგენს. სწორედ ამ გზით მიიღებოდა პირველ ხანებში ლითონური ურანი.

9. კალციუმ-თუთიის შენადნობი შეიძლება მსუბუქი ბეტონებისა და ფოროვანი ცეცხლგამძლეების მისაღებად გამოვიყენოთ, ხოლო ტყვია-კალციუმის შენადნობი — ანტიფრიქციული შენადნობების დასამზადებლად.

10. ალუმინ-თუთია-კალციუმის (80 : 15 : 5) შენადნობმა გამოყენება პოვა, როგორც პროტექტორმა ნავთობსადენებისა და სხვა მიწისქვეშა ნაგებობების კოროზიისაგან დასაცავად.

მიუხედავად გამოყენების სფეროების სიმრავლისა, უნდა აღინიშნოს, რომ სუფთა კალციუმი ტექნიკაში ისეთი ფართო მასშტაბით მაინც ვერ დაინერგა, როგორც მოსალოდნელი იყო; ამის მიზეზია კალციუმის შედარებით სიძვირე, სუფთა ლითონის სახით მიღების სირთულე და მისი შეცვლის შესაძლებლობა სხვა უფრო ხელმისაწვდომი მასალებით.

უფრო იოლი გამოდგა მისი (და სხვა ტუტემიწა ლითონების) შენადნობების მიღება ზოგიერთ მძიმე ადვილლობადი ლითონის (ტყვია და სხვ.) თხევად კათოდზე (იხ. თავი — „ელექტროლიზი თხევადი ლითონის კათოდით“).

„მ ხ ე ბ ი კ ა თ ო დ ი“. კალციუმქლორის უშუალო ელექტროლიზი მხოლოდ სუბქლორიდს (CaCl) გვაძლევს. ეს ნაერთი დენის ცუდი

¹⁸ ბისმუტის მოშორება შეიძლება ელექტროლიზური რაფინირებითაუ (ბეტსის მეთოდი), მაგრამ ეს ძვირი ჯდება — 0,1% ბისმუტის მოსაშორებლად ტყვიას მთელი მასის ანოდურად გახსნა საჭირო მისი შემდგომი გამოლექვით.

გამტარია, ამიტომ ელექტროლიზის პროცესი ჩქარა წყდება. სუბქლორიდი ჰაერთან შეხებისას ენერგიულად იწვის ჟანგის წარმოქმნით. გამოყოფილი სითბო პროცესს კიდევ უფრო ათულებს.

ეს არასასურველი მოვლენები ე. წ. „მხები კათოდის“ მეშვეობით არის აცილებული. ამგვარი ხერხი პირველად მატისენმა გამოიყენა (1855) რ. ბუნზენის ლაბორატორიაში მუშაობის დროს; მაგრამ გასული საუკუნის მიწურულამდე კალციუმის მისაღებად ისევ ქიმიურ გზას მიმართავდნენ. მოგვიანებით რათენაუმ შეძლო ამ მეთოდის ათვისება საწარმოო მასშტაბით.

„მხები კათოდის“ არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ელექტროდი მხოლოდ ეხება გამლღვალი კალციუმქლორის ზედაპირს. ვინაიდან ლითონი უფრო მსუბუქია, ვიდრე ელექტროლიტი, ამიტომ იგი წვეთის სახით გროვდება და ეკვრის კათოდის ზედაპირს. ამის შემდეგ იწყებენ კათოდის ნელ-ნელა ამოწევას. წვეთი მყარდება და შემდეგ თვით ასრულებს ელექტროდის როლს. დაქანგვისაგან მას იცავს მარილის თხელი ფენა, რომელიც თან ამოჰყვება ხოლმე ლითონს.

ელექტროლიტისა და კათოდის შეხების წერტილში დენის საკმაოდ მაღალი სიმკვრივე აღინიშნება — 50—60 ა/სმ². ეს განაპირობებს სითბოს დიდ კონცენტრაციას ამ წერტილში, რის გამოც კალციუმი თხევადი წვეთის სახით გამოიყოფა; იმისათვის, რომ მან ვერ მოასწროს ელექტროლიტში გახსნა სუბქლორიდის წარმოქმნით, რეჟიმი ისეა შერჩეული, რომ კათოდის ნელ-ნელა ამოწვევისას წვეთი ცივდება და მყარდება.

ელექტროლიტი მაღალი სისუფთავის უნდა იყოს, ჟანგის მინარევის გარეშე. კალციუმქლორი 780°-ზე ღვება, კალციუმი კი 800°-ზე. პროცესიც ამ ტემპერატურაზე ან მცირე გადამტებით მიმდინარეობს, ვინაიდან გადახურებისას კალციუმი იწვის, ხოლო დაბალ ტემპერატურაზე დენდრიტები წარმოიქმნება, რაც ლითონის გაქუჩყიანებას უწყობს ხელს სხვადასხვა ჩანართებით.

ამგვარად, „მხები კათოდის“ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელი ხდება კალციუმის გამოკალკეება ელექტროლიტისაგან, რითაც თავიდანაა აცილებული მისი გახსნა ლლობილში.

აბაზანა ნახშირის ან გრაფიტისაა და ანოდის როლს ასრულებს; ძირი სპეციალური ამონაგით არის შესრულებული ან წყლით ცივდება და გამყარებული მარილის ფენა (გარნისაჟი) აქვს გადაკრული.

„მხები კათოდი“ სათანადო მექანიზმის მეშვეობით ამოიწვევა ზევით და, როცა კალციუმის ლეროს სიგრძე 500 მმ-ს მიაღწევს (დიამეტრია 100—120 მმ), მას მოამტკრევენ. ამის შემდეგ კათოდის ლეროს ისევ დასწევენ ქვევით და პროცესი მეორდება.

კალკეულ შემთხვევაში დენის გამოსავალი თუმცა 80%-ს შეიძლება აღწევდეს, მაგრამ ძაბვის დიდი დანაკარგების გამო (20—25 ვ) აბაზანის მქვ 10—15%-ს არ აღემატება.

ანოდური ეფექტის თავიდან ასაცილებლად დენის სიმკვრივე ანოდზე შედარებით მცირეა — 1,0 ა/სმ².

კალციუმის ლეროებს მინარევებისაგან (ქლორიდები და სხვ.) განთავისუფლების მიზნით გადაადნობენ ხოლმე და ინახავენ ნავთში.

უფრო მაღალი (99%) სისუფთავის ლითონის მისაღებად მას ვაკუუმში გამოხდიან მაღალ ტემპერატურაზე (800°), მაგრამ ამ დროს 30%-მდე დანაკარგი გვაქვს.

საინტერესოა, რომ ვაკუუმში გამოხდილი ლითონი საკმაოდ მედეგაა როგორც ჰაერზე, ისე კონცენტრირებული ტუტის ხსნარში. რაც შეეხება განზავებულ ტუტეებსა და მჟავებს, ისინი, ცხადია, ადვილად ხსნიან კალციუმს.

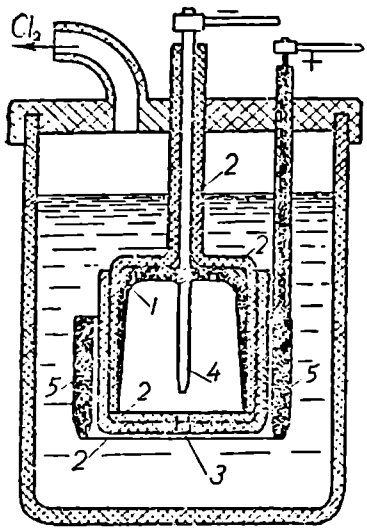
სტრონციუმი და ბარიუმი

სტრონციუმის სუფთა ლითონის სახით მიღება, მისი ქიმიური აქტივობისა და გამლვეალ მარილში მომეტებული ხსნადობის გამო, კიდევ უფრო ძნელია, ვიდრე კალციუმისა, მაგრამ „მხები კათოდის“ მეშვეობით მაინც ხერხდება მისი მომცრო (ფანქრის ოდენა) ლეროებად მიღება. ელექტროლიტად სტრონციუმქლორისა და კალციუმქლორის ნაზავია აღებული, ვინაიდან პირველი მათგანის ლლობის ტემპერატურა 100°-ით აღემატება თვით სტრონციუმის ლლობის ტემპერატურას.

რაც შეეხება ბარიუმს, მისი ლლობილთა ელექტროლიზით მიღება ჭერჭერობით ვერ მოხერხდა, ვინაიდან მას კიდევ უფრო მეტი ხსნადობა ახასიათებს თავისსავე გამლვეალ მარილში (წარმოიქმნება სუბნაერთი, მაგალითად BaCl), რის შედეგადაც ლლობილის ელექტროგამტარობა რამდენიმე წუთში ნულამდე ეცემა და პროცესი წყდება. საქმეს არც სხვა მარილების დამატება შეეღის. მაგრამ ზოგიერთი ტექნიკური ღონისძიების განხორციელებით შესაძლებელი ხდება ტუტემიწა ლითონთა გამლვეალი მარილების ხანგრძლივი ელექტროლიზის ჩატარება. ამისათვის შემოთავაზებულია ე. წ. „დახურული კათოდის“ კონსტრუქცია. მისი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ კათოდური არე თითქმის იზოლირებულია ანოდური გარემოსაგან (სურ. 71); დატოვებულია მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე ნასვრეტი, რომელთა მეშვეობითაც ხორციელდება დენის გავლა და ელექტროლიზის პროცესის უწყვეტი მიმდინარეობა.

კაპოდი შიგნიდან ისეთი მასალითაა ამოგებული, რომელიც გამო-
 ლეკილ ლითონთან არ ურთიერთქმედებს (სუფთა რკინა ან ქრომის
 თხელი ფენით დაფარული სხვა ლითონი).

ლითონს ან შენადნობს ელექტროლიტის ძირითად მასაში არევის
 საშუალება არა აქვს; ეს ამცირებს
 მისი ხსნადობის შესაძლებლობას
 და ხელს უწყობს კათოდურ არე-
 ში დაგროვებას.



სურ. 71. ტუტემიწა ლითონთა შენად-
 ნობებისა და სუბნაერთების მისაღები
 აბაზანის ესკიზი. 1—კათოდის ამონა-
 გვი; 2—კათოდის გარეთა საიზოლაციო
 მასალა (კერამიკა); 3—ნასვრები ელექ-
 ტროლიტის განსახორციელებლად; 4—
 კათოდის ღერო; 5—ანოდი; 6—აბა-
 ზანის გარსაცმი

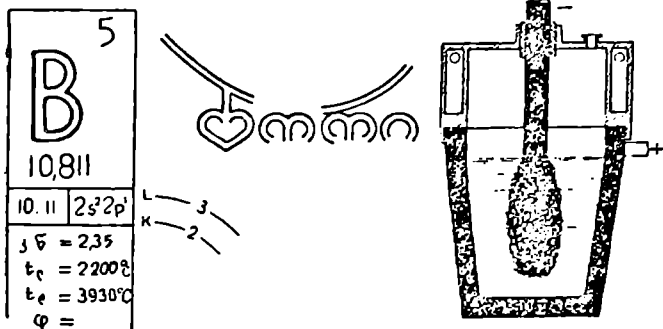
რაც შეეხება ტუტემიწა ლითონ-
 ნების შენადნობების მიღებას რომელიმე მძიმე ადვილლობადი
 ლითონის კათოდით (Pb, Sn, Zn, Cd, Al—Cu და სხვ.), ეს პროცე-
 სი შედარებით ადვილად და მაღალი
 გამოსავლით ხორციელდება.
 შენადნობის გამოხდა ვაკუუმში
 მაღალ ტემპერატურაზე სუფთა
 ბარიუმის მიღების პერსპექტივებს
 სახავს.

სუფთა ბარიუმის მისაღებად
 პრაქტიკაში ამჟამად მიმართავენ
 ალუმინთერმულ ხერხს — ბარი-
 უმის ჟანგის აღდგენას ალუმინის
 ფხვნილით. პროცესი გაიშვიათე-
 ბის ქვეშ ტარდება, 1250—1350°-
 ზე (სურ. 72).

ალუმინის მიერ ტუტემიწა და
 სხვა ქიმიურად აქტიური ლითონ-
 ნების აღდგენის მეთოდი ნ. ბეკე-
 ტოვის მიერაა აღმოჩენილი ჭერ

კიდევ წარსულ საუკუნეში (1860). ეს ხერხი იმით არის საინტერესო,
 რომ აღსადგენი ლითონები (ყერძოდ, ბარიუმი) თუმცა გაცილებით
 უფრო უარყოფითი პოტენციალით ხასიათდება, ვიდრე ალუმინი, მაგ-
 რამ მაღალ ტემპერატურაზე და გაიშვიათების პირობებში პირველთა
 ორთქლის დრეკადობა უფრო მაღალია, ვიდრე აღმდგენელისა და რად-
 განაც ისინი მყისვე ეილდებიან სარეაქციო არეს, საბოლოო ჯამში
 სწორედ ამ ლითონების (ჩვენს შემთხვევაში ბარიუმის) გამოხდა მიმ-
 დინარეობს.

ბარიუმი ქიმიურად აქტიური და რბილი ლითონია, კ. წ. 3, 7,
 ლღვება 710°-ზე, დუღს 1580°-ის ფარგლებში. იგი საუკეთესო გეტერ-
 მასალაა ვაკუუმ-ხელსაწყოებში გაიშვიათების შესაქმნელად.



ბორი, როგორც პერიოდული სისტემის III ქვეჯგუფის მათავე ელემენტი, ქიმიური თვისებებით უფრო მომდევნო ჯგუფის ელემენტებს, კერძოდ, კაუბადს ჩამოგავს. ეს მოშავო-მოყავისფრო კვარტლის-მაგვარი ფხვნილი ჩვეულებრივ პირობებში საკმაოდ ინერტულია. მედეგია ჰაერზე და წყალში. არადაამყანგველ მყავებში უხსნადია. კონცენტრირებული აზოტმყავა კი თანდათან ხსნის მას ყანგის წარმოქმნით.

ბორი წყალბადთან საინტერესო თვისებების მქონე და ტექნიკისათვის პერსპექტიულ ნერთებს — ბორანებს გვაძლევს. ასეთებია:

დიბორანი — B_2H_6

ჰექსაბორანი — B_6H_{10} ; B_6H_{12}

ტეტრაბორანი — B_4H_{10}

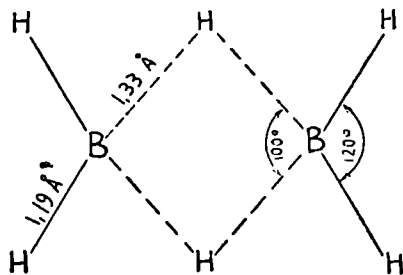
დეკაბორანი — $B_{10}H_{14}$

პენტაბორანი — B_5H_9 ; B_5H_{11}

ბორწყალბადების აღდგენით ელემენტური ბორი შეიძლება მივიღოთ, დაწვა კი დიდი რაოდენობით სითბოს გამოყოფს, რაც მათი რაკეტულ ტექნიკაში გამოყენების პერსპექტივებს სახავს.

მაღალ ტემპერატურაზე ბორი აღვილად რეაგირებს ყანგბადთან, ქლორთან, ბრომთან, გოგირდთან, აზოტთანაც კი. ძლიერი გახურებით აღადგენს ნახშირბადს, კაუბადს და ფოსფორს მათი ყანგეულებიდან. ლითონთა უმრავლესობასთან წარმოქმნის ბორიდებს. ბორის ბრომიდის დაშლისას ტანტალის გავარყარებულ მავთულზე აღმასის სისაღლის მქონე კრისტალები მიიღება.

ბორის ფიზიკური თვისებებიდან აღსანიშნავია მისი ელექტროგამტარობის საოცარი ზრდა (შემცილების ნაცვლად!) მაღალ ტემპერატურაზე. 600° -ზე მისი ელექტროგამტარობა, მაგალითად, 100° -ჯერ მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ პირობებში, 1000° -ზე კი, ზოგიერთი მონაცემების თანახმად, ამ მახასიათებლის სიდიდე მილიონჯერ იზრდება.



სურ. 72. დიბორანის მოლეკულის აღნაგობის სქემა (სამცენტრიანი ბმა)

ბორის მოშავო-მოყავისფრო ფხვნილი (კ. წ. 1,78) მხოლოდ განსაკუთრებულ პირობებში შეიძლება მყარ კრისტალურ მდგომარეობაში გადავიყვანოთ (კ. წ. 2,34). ლობის ტემპერატურაა 2300° , დუღილისა კი 200° -ით უფრო მაღალია.

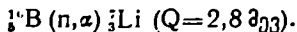
გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ ა. ბორი ბუნებაში მხოლოდ მისი ნაერთების სახით გვაქვს. კლარკი $3 \cdot 10^{-4}\%$ -ს აღწევს. მინერალებიდან აღსანიშნავია ბორაქსი — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ და დატოლიტი — $\text{Ca}_2(\text{BO}_2)(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_2$, რომელიც ჩრდილოეთ კავკასიაშიც მოიპოვება.

გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ა. ბორს, მისი შენადნობებისა და ნაერთების საინტერესო თვისებების გამო, მრავალმხრივი გამოყენება აქვს თანამედროვე ტექნიკის პროგრესულ დარგებში.

მ ე ტ ა ლ უ რ გ ი ა მას იყენებს სპეციალური ფოლადებისა და შენადნობების წარმოებაში. აქ იგი მოქმედებს ნახშირბადის ანალოგიურად, მაგრამ გაცილებით უფრო ეფექტურად. საკმარისია $0,02\%$ ბორის დამატება, რომ სუფთა რკინამ წითობის უნარი შეიძინოს. იზრდება სისალე, უფრო ადვილად ხერხდება აზოტის მოცილება. ბორის კეთილსასურველი გავლენა იმის შედეგია, რომ იგი ამცირებს შენადნობის მარცვლის ზომას. ლითონის სისალის გასაზრდელად მიმართავენ ბორირებას — ნაკეთობის ზედაპირულ გაჯერებას ბორით. გაჯერება ხდება ბორის ან ფერობორის ფხვნილში გახურებით, წყალბადის აღმდგენელ ატმოსფეროში. ბორს ამატებენ ალუმინის, სპილენძისა და ნიკელის შენადნობებსაც.

ბორს ორი სტაბილური იზოტოპი აქვს — ^{10}B (19%) და ^{11}B (81%). რაც შეეხება ხელოვნურ რადიოაქტიურ იზოტოპებს, მათ ნახევარდაშლის მცირე პერიოდი აღმოაჩნდათ.

ატომგულური ტექნიკისათვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი გამოდგა ბორის მსუბუქი იზოტოპი, რომელიც ნეიტრონის წატაცების დიდი უნარით გამოირჩევა:



ეს თვისება საფუძვლად დაედო ნელი ნეიტრონების რეგისტრაციას ბორის მრიცხველებსა და კამერებში. ხელსაწყო ავსებულია ბორის რომელიმე აირადი ნაერთით (უფრო ხშირად ფტორიდით — BF_3 , იგი საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზე — 127° -ზე თხევადდება) ან შიგნიდან არის დაფარული მყარი კარბიდით (B_4C). სხვა შემთხვევაში თვით კამერის ელექტროდები შეიცავენ ბორის მინარევს.

პარაფინით ან სხვა რომელიმე შემნელებელი ნივთიერებით გარემოცული კამერა ჩქარი ნეიტრონების რეგისტრაციისთვისაც გამოიყენება. იონიზაციის დენი კამერაში წარმოქმნის α -ნაწილაკებს. რომელთა მეშვეობით ბორი-10 რეაგირებს ნეიტრონებთან ზემომოყვანილი რეაქციის შესაბამისად.

ბორმკვასა და მისი სხვა ზოგიერთი ნაერთისაგან მზადდება მნათი ნივთიერება ნეიტრონების სცინტილაციური აღმრიცხველებისათვის.

თბური ნეიტრონების შთანთქმის დიდი განიკვეთის გამო, ბორი — 10 (ბორალის სახით¹⁹) ერევა რეაქტორის მართვადი ლეროებისა და ნეიტრონების მავნე მოქმედებისაგან დამცველ მასალებს.

3%-მდე ბორის შემცველი ფოლადი ბიოლოგიური ან თბური დაცვისათვის არის გამოყენებული.

ცხადია, რომ ნეიტრონების ხარბად შთანთქმის გამო ეს ელემენტი უაღრესად მავნე მინარევად ითვლება ატომგულური საწვავისა და რეაქტორების საკონსტრუქციო მასალებისათვის. მისი თუნდაც მემილიონედი ნაწილის შემცველობაც კი სავსებით უვარგისს ხდის გრაფიტს შემნელებლად.

სუფთა ბორს, მისი სპეციფიკური თვისებების წყალობით, გამოყენების გარკვეული პერსპექტივები ესახება ნახევარგამტარების ტექნიკაში.

ელემენტის სახით ბორი ჯერ კიდევ წარსული საუკუნის დასაწყისში იყო მიღებული პ. დევისა და მ. ფარადეის მიერ ლობილთა ელექტროლიზით. მომდევნო წლებში ჩატარებული ცდები ლაბორატორიის ფარგლებს არ გასცილებია. მას შემდეგ, რაც ბორის მსუბუქ იზოტოპს ატომგულურ ტექნიკაში გამოყენების პერსპექტივები დაესახა, მისი

¹⁹ ბორალი არის ალუმინის ფხენილისა და ბორის კარბიდის ნარევი (1:1). იგი ადვილად მუშავდება. შესაძლებელია მისი შედუღება პელიუმის გარემოში. მექანიკურ თვისებებს ბორალი ნეიტრონების ძლიერი ნაკადის გამოსხივების დროსაც არ იცვლის.

მიღება უფრო ფართო მასშტაბით გახდა საჭირო. კვლევათა სიმრავლის მიუხედავად, ტექნოლოგიური პროცესი ჯერ კიდევ საჭიროებს დახვეწას.

ერთ-ერთი ამერიკული პატენტის მიხედვით, ბორს იღებენ კალიუმ-ქლორისა და KBF_4 (5 : 1) ლობილის ელექტროლიზით. სპილენძის ან მოლიბდენის კათოდზე გამოლექილი მოშავო ფერის ფხვნილი სუსტ მეჟავა ხსნარში გარეცხვისა და გაშრობის შემდეგ 99,5%-მდე ბორს შეიცავს. აბაზანა პერმეტულად უნდა იყოს დახურული. პროცესი არგონის გარემოში ტარდება 700—800°-ზე. ანოდის როლს თვით გრაფიტის ტიგელი ასრულებს.

პერსპექტიულად ითვლება კალიუმფტორისა და კალიუმქლორის ნარევეში გახსნილი B_2O_3 -ის (30 : 47 : 23) ელექტროლიზი 850°-ზე 0,8 ა/სმ² კათოდური დენის სიმკვრივისას. მაგრამ ამ დროს მხოლოდ 96—98%-იანი პროდუქტი მიიღება.

საინტერესო ცდებია ჩატარებული ნატრიუმქლორისა და კალიუმ-ქლორის ეკვიმოლარულ ნარევეში გახსნილი KBF_4 -ის გამოყენებით, ბორის კარბიდის ხსნადი ანოდით. პროდუქტის სისუფთავე 99,8%-ს აღწევს.

ბორის ფხვნილის მიღება შეიძლება მაგნიუმთერმული ხერხითაც, მაგრამ ძირითადი ელემენტის შემცველობა მასში 97%-ს არ აღემატება. ნატრიუმით აღდგენისას სუბოქსიდების მომეტებული რაოდენობა გვაქვს, ალუმინი კი ბორიდებს წარმოქმნის.

ელექტროლიზი გამლვალ ლითონის კათოდით

თხევადი კათოდის გამოყენება იმ ლითონების გამოსალექად გამოდგა პერსპექტიული, რომელთა მაღალი ქიმიური აქტივობა და გამლვალ მარილში ხსნადობა აძნელებს და ზოგჯერ შეუძლებელსაც ხდის მათ მიღებას სხვა ხერხით. ასეთებია ტუტემიწა და ზოგიერთი ტუტე ლითონი.

თხევად კათოდად, როგორც წესი, რომელიმე მძიმე ადვილლობად ლითონს — ტყვიას, თუთიას, კალას, კადმიუმს, ბისმუტს იღებენ. მათი უმრავლესობა ჯერ კიდევ წარსული საუკუნის მიწურულში იყო გამოცდილი როჯერსის მიერ, მაგრამ სამრეწველო მასშტაბით განხორციელება ვერ პოვა. შემდგომში ჩატარდა კვლევები მსუბუქ ლითონებზეც. მკატრად რომ ვიმსჯელოთ, ალუმინის მიღება და რაფინირებაც ხომ თხევად კათოდზე მიმდინარეობს. ბოლო წლებში ამ მიზნით შედარებით ძნელლობადი ლითონებისა და მათი შენადნობების გამოყენებაც დაიწყო (სპილენძი, ალუმინი, ვერცხლი და სხვ.).

თავისთავად ისმის კითხვა — რით უნდა იყოს გაპირობებული ამ დროს ელექტროლიზის პროცესის გაადვილება? პასუხი მარილის (ელექტროლიზის) დაშლის თავისუფალი ენერჯიის ცვლილებასა და თხევად კათოდზე ამა თუ იმ შენადნობის წარმოქმნის შესაძლებლობაში უნდა ვეძიოთ. ორივე ეს პროცესი პოლარიზაციის შედეგად გამოწვეულ სიძნელეებს ამცირებს. სათანადო გათვლები გვარწმუნებს, რომ თხევადი კათოდის გამოყენებით მარილის დაშლის ძაბვის სიდიდეც კი შეიძლება შევამციროთ.

დაშლის ძაბვა ამ დროს გამოისახება ფორმულით:

$$E = \varphi_0 - \varphi_1 + (\Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_1) + \frac{-\Delta Z_1}{nF},$$

სადაც φ_0 და φ_1 ანოდისა და კათოდის პოტენციალებია,

ΔZ_1 გამოსალექი ლითონის იზობარულ-იზოთერმული მოლარული პოტენციალის ცვლილებაა ამ ლითონის ურთიერთქმედებისას კათოდად აღებულ ლითონთან.

საყურადღებოა ის გარემოება, რომ ელექტროლიზის პროცესში დაბალვალენტიანი ნაერთების წარმოქმნა მცირდება. ეს გასაგებია: კათოდის მასალით განზავების გამო ეცემა გამოყოფილი ლითონის აქტივობა. საბოლოო ჯამში მცირდება დანაკარგები, რაც, ცხადია, დადებითად მოქმედებს დენით გამოსავალზე. მაგრამ ამ უკანასკნელის სიდიდე დროის მიხედვით მაინც კლებულობს, რადგან ელექტროლიტთან შეხებაში მყოფი კათოდის ზედაპირული ფენის გაჯერების გამო ისევ იქმნება პირობები დაბალვალენტიანი ნაერთების წარმოქმნისათვის; ასევე მოქმედებს ტემპერატურის გაზრდაც.

პროცესის კინეტიკა. პროცესის ინტენსივობისა და გამოსაყოფი ლითონით გამლვალ კათოდის გაჯერებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს პირველის დიფუზიის სიჩქარეს მეორეში, რასაც შესაბამისი კოეფიციენტის სიდიდე განსაზღვრავს. დენის სიმკვრივე ამ დროს მით მეტი შეიძლება იყოს, რაც მეტია დიფუზიის სიჩქარე, მაღალია აღსადგენი იონების კონცენტრაცია და მცირეა დიფუზური შრის სისქე. შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ

$$i_j = D \frac{\Delta C}{\Delta X} (q)^{-1} \text{ ა/სმ}^2.$$

აქ D დიფუზიის კოეფიციენტი. მისი მნიშვნელობა, კერძოდ, ტყვიანატრიუმის შენადნობისათვის უდრის 2 სმ²/24 ს.

$\frac{\Delta C}{\Delta X}$ კონცენტრაციის გრადიენტი გამლვალ ლითონის (კათო-

დის) დიფუზურ შრეში, თუ ჩავთვლით, რომ კონცენტრაციის ვარდნას ელექტროლიტთან შეხებაში მყოფი ლითონის ფენის სისქის მიხედვით ხაზობრივი ხასიათი აქვს.

q — გამოსაღები ლითონის ელექტროქიმიური ეკვივალენცია.

დენის მცირე სიმკვრივისას ლითონის დანაჟარების გავლენა დენით გამოსავალზე უფრო საგრძნობია. დენის სიმკვრივის გაზრდა იმ მომენტამდე აღიღებს დენით გამოსავალს, ვიდრე დიფუზიის სიჩქარე არ მიაღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას. თუ გამოლექილი ლითონის რაოდენობა საკმაოდ აღემატება შენადნობში მისი დიფუზიის უნარს, ზედაპირზე წარმოიქმნება ამ ლითონის მყარი ან თხევადი ფენა. როდესაც ლითონი ელექტროლიტზე უფრო მსუბუქია, იგი ამოტივტივდება ზევით, რაც ზრდის დანაჟარებს.

ცხადია, რაც უფრო მსუბუქია ლითონი, მით უფრო ძნელდება დიფუზია თხევად კათოდში. მნიშვნელობა აქვს ლითონის ლობის ტემპერატურასაც. თუ ეს სიდიდე პროცესის მიმდინარეობის ტემპერატურას აღემატება, ლითონი გამოილექება მყარი სახით, რაც აგრეთვე აძნელებს დიფუზიას. ეს გარემოება კიდევ უფრო საგრძნობი ხდება, როდესაც ლითონი ღრუბლოვანი, ფაშარი ნემსისმაგვარი კრისტალების სახით გამოიყოფა ან ძნელლობად შენადნობებს წარმოქმნის.

კათოდის ზედაპირის ცვლა, რაც მისი არევიით ან გამდინარე კათოდის გამოყენებით მიიღწევა, ხელს უწყობს გამოლექილი ლითონის ხსნადობას, ზედაპირული ფენის განახლებას და პროცესის სასურველი მიმართულებით წარმართვას.

არანაკლები მნიშვნელობა აქვს თხევადი კათოდის ქიმიურ ბუნებასაც. იმ შემთხვევაში, თუ იგი ადვილად წარმოქმნის შენადნობს, პოლარიზაცია მცირდება და ლითონის გამოყოფა ადვილდება; ამისათვის საჭიროა შესაბამისი მდგომარეობის დიაგრამის ცოდნა; ტყვიის კათოდზე გამოყოფისას კალციუმი, მაგალითად, წარმოქმნის ძნელლობად (1150°) ნაერთს — Pb_2Ca . მყარი კრისტალები ტყვიაში თითქმის არ იხსნებიან და ამიტომ ზევიდან გადაეკვრიან კათოდს. ამ ფენაზე ხდება კალციუმის გამოყოფა, რომელიც თავის მხრივ კარგად იხსნება გამღვალ ელექტროლიტში; ეს მკვეთრად ამცირებს დენით გამოსავალს. საჭირო ხდება კათოდური შენადნობის ენერგიული მორევა (სასურველია ფენების ვერტიკალური გადაადგილებით).

ვინაიდან ელექტროლიზის პროცესში მხოლოდ თხევადი ლითონის ზედაპირი მონაწილეობს, ხოლო დიფუზიის სიჩქარე თითქმის ყოველთვის მცირე სიდიდეს აღწევს, ამიტომ კათოდის სქელი ფენის აღება მიზანშეწონილი არ არის. მისი სისქე სამარეწველო აბაზანებშიაც კი მხოლოდ რამდენიმე სანტიმეტრს აღწევს.

ტყვია-ნატრიუმ-კალიუმის სამმაგი შენადნობის მიღება. ეს შენადნობი ფართოდ არის გავრცელებული პრაქტიკაში: მისგან მზადდება ბენზინის ანტიდეტონატორი — ტეტრაეთილტყვია — $(C_2H_5)_4Pb$. შენადნობი მიიღება დახურულ აბაზანაში, რომელსაც აქვს კრიკა მზა პროდუქტის გამოსაშვებად. აბაზანას ზოგჯერ უკეთებენ სპეციალურ „ჯიბეს“, სადაც გადადინდება ნატრიუმით და კალიუმით გაჯერებული ზედაფენა. აქედან თხევადი შენადნობი ვაკუუმ-ციხვით შეისრუტება. ტყვიის ახალი კერძის დამატება კედელში დატანებული ზერელიდან ხდება.

შენადნობი 10% ნატრიუმს და 1% კალიუმს უნდა შეიცავდეს. ელექტროლიტად გამოყენებულია შესაბამისი ქლორიდების ნარევი (1:1) კალიუმფტორის მცირე დამატებით.

ელექტროლიტის ფენის სისქე 20—30 სმ-ია, კათოდური ლითონის ფენისა კი — 7—8 სმ. ამდენივეა ელექტროდებს შორის მანძილიც.

პრაქტიკაში საკმაოდ მძლავრი (70 კა) ელექტროლიზერებია გამოყენებული. პროცესი 700° -ზე ტარდება; დენის სიმკვრივე კათოდზე არის 0,5—1,0 ა/სმ². ძაბვა მომჭერებზე 11 ვ-ს აღწევს. დენით გამოსავალი საშუალოდ 85%-ის ფარგლებშია, ელექტროენერგიის ხარჯი 1 ტ შენადნობზე 1,7 მეტ-ს უდრის.

ტყვია-ნატრიუმის შენადნობის მიღება. ნატრიუმქლორის საელექტროლიზო დანადგარი რთული კონსტრუქციისაა და შედარებით მცირე წარმადობა აქვს. ძნელია მისი მომსახურება.

ამან დღის წესრიგში დააყენა გამლღვალი კათოდის მეთოდის გამოყენება ნატრიუმისა და კალიუმის მისაღებად. აშშ-ში უკვე მუშაობს დიდი სიმძლავრის აბაზანები (200 კა), რომლებშიც თხევადი ტყვიის გამდინარე კათოდია გამოყენებული. იგი 830° -ზე თანდათან გაჯერდება ნატრიუმით. ელექტროლიტად აღებულია სუფთა ნატრიუმქლორი²⁰. ანოდების როლს ასრულებს გრაფიტის ბლოკები, რომლებიც ზემოდანაა ჩაშვებული აბაზანაში.

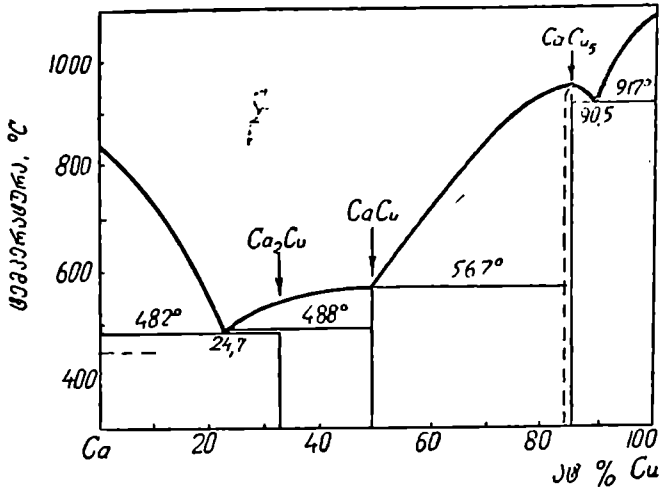
6—8% ნატრიუმის შემცველი შენადნობი გადაიქაჩება ჰერმეტულ შემკრებში, იქიდან კი ფოლადის თაროებიან კოშკში, სადაც 500° -ზე ვაკუუმში ნატრიუმის ორთქლი კონდენსირდება სპეციალურ მაკივარში, ტყვია კი ბრუნდება აბაზანაში.

აბაზანა და ვაკუუმ-დანადგარი ერთ მთლიან აგრეგატს წარმოადგენს.

სპილენძ-კალციუმის შენადნობის მიღება. ტექნიკური ხასიათის სიძნელეებმა, მაღალმა თვითღირებულებამ და მცირე

²⁰ იმ შემთხვევაში, როდესაც მაღალი სისუფთავის ნატრიუმის მიღებაა საჭირო, ელექტროლიტად ქლორიდის ნაცვლად იღებენ ტუტეს.

წარმადობამ, რაც „მზები კათოდის“ მეთოდს ახასიათებს, ჰერ კიდევ ორმოციოდე წლის წინათ აფიქრებინა მკვლევრებს ტუტემიწა ლითონების მიღების მიზნით გამოყენებინათ თხევადი კათოდი. მაგრამ ამისათვის ტყვია და კალა არ გამოდგა პირველის აქროლადობისა და მეორის სიძვირის გამო. პრაქტიკულად უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა კალციუმის გამოყოფა სპილენძის თხევად კათოდზე. სპილენძის ორთქლის მცირე დრეკადობა საშუალებას იძლევა შენადნობიდან ამორთქელით ვაკუუმში მალალ ტემპერატურაზე მივიღოთ კალციუმი.



სურ. 73. Ca—Cu-ის მდგომარეობის დიაგრამა

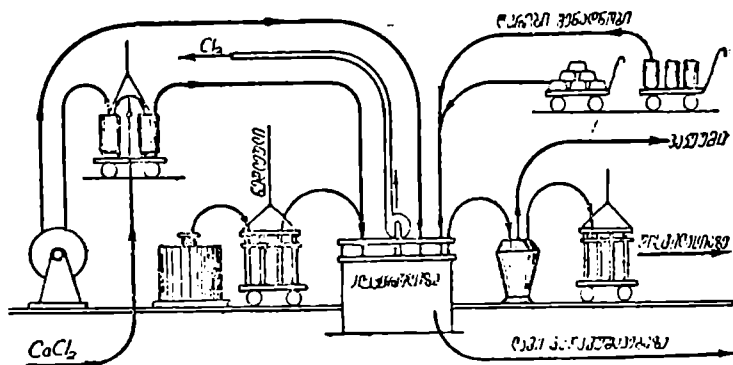
სპილენძი საგრძნობლად ამცირებს ამ უკანასკნელის აქტივობას შენადნობში. 40—70% კალციუმის შემცველი შენადნობები 700°-ზე თხევად მდგომარეობაში გვაქვს, მაშასადამე, ელექტროლიზის პროცესის ჩატარება არც ისე მალალ ტემპერატურებს მოითხოვს.

ელექტროლიტად გამოყენებულია კალციუმქლორისა და ნატრიუმქლორის ნაზავი (80 : 20), რომელიც 630—700°-ის ფარგლებში ღვება.

თხევადი კათოდის გამოყენების შემთხვევაში მიზანშეწონილად ითვლება, რომ პროცესის ტემპერატურა რამდენაღამე მაინც აჭარბებდეს გამოსაყოფი ლითონის ღლობის ტემპერატურას, ვინაიდან თხევადი ლითონი უფრო ადვილად დიფუნდირებს შენადნობში. სპილენძ-კალციუმის შენადნობის მიღების დროს კი კალციუმი მყარი სახით გამოილეება; მისი კათოდურ მასაში გახსნის გასაადვილებლად აბაზანას აქვს მომრევი პერიოდულად მორევისათვის.

კათოდური დენის სიმკვრივე არის 0,9, ანოდურისა კი — 2—3 ა/სმ². დენით გამოსავალი 75%-მდე შეიძლება იყოს. შენადნობის კალციუმით გაჯერება ხდება 65%-მდე.

აბაზანა წარმოადგენს გარედან იზოლირებულ ჰერმეტიულ დახურულ ფოლადის ვარცლს. ანოდის პაკეტები ჩაშვებულია ზევიდან. კალციუმქლორი, რომელიც 5%-მდე სინესტეს შეიძლება შეიცავდეს, აგრეთვე იზოლირებული ზვიმირიდან მიეწოდება. ელექტროლიტი არ უნდა შეიცავდეს მინარევებს, განსაკუთრებით რკინის ნაერთებს. რკინა გამოიყოფა ღრუბლოვანი სახით და ხელს უშლის შენადნობის კონტაქტს კათოდთან. ამის შედეგად მალდება ძაბვა, ხდება გადახურება. რკინისა და მისი ქანგის ნალექს აცილებენ სისტემატურად. კალციუმის გამოლექვა იწვევს შენადნობის მოცულობის გაზრდას. გამდიდრებული ზედაპირული ფენა გადადინდება მისთვის განკუთვნილ „კიბეში“, საიდანაც ღროდადრო ამოისრუტება ვაკუუმ-ციცხვის მეშვეობით.



სურ. 74. სპილენძ-კალციუმის შენადნობის მიღების ტექნოლოგიური სქემა

ელექტროლიტის საშუალო სისქე არის 23 სმ, შენადნობისა კი 5-დან 20 სმ-მდე შეიძლება იცვლებოდეს. ანოდი და კათოდი ერთმანეთისაგან 4 სმ-ით არის დაცილებული. ძაბვა მომჭერებზე საშუალოდ 9 ვოლტს აღწევს. ანოდზე გამოყოფილი ქლორი კალციუმის ქანგის დაქლორვისათვის გამოიყენება.

ვაკუუმ-ციცხვიდან შენადნობი გადააქვთ ფოლადის კიქაში, რომელიც ვაკუუმის გამოსახდელ რეტორტაში თავსდება. რეტორტის ზედა ნაწილი წარმოადგენს მაცივარ კონდენსატორს; შუა ნაწილში, შენადნობის წვეთების დასაჭერად, სპეციალურ ჩარჩოზე ფოლადის რგოლებია ჩაწყობილი. რეტორტა ელექტროწინალობის ვაკუუმ-ღუმელში

იდგება. პროცესი 1180° -ზე და $1 \cdot 10^{-2}$ მმ (ვ. წ. სვ.) გაიშვიათებისა მიმდინარეობს. გამოხდას 4-5 საათი უნდება.

ზედა ფენა, რომელიც კალციუმით არის გაღარიბებული, უფრო მძიმეა და ქვევით ეშვება. ეს უზრუნველყოფს შენადნობის არევისას.

კონდენსატორის ტემპერატურას ისე არეგულირებენ, რომ კალციუმში მყარი კრისტალების სახით გამოიყოს. ზედა ნაწილი ადვილად აქროლადი მინარევებით არის გაჭუჭყიანებული, ქვედა კი (დაბალი ორთქლის დრეკადობის მქონე კომპონენტებს შეიცავს. შუა ნაწილი სუფთა კალციუმისაგან შედგება.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ კალციუმის მიღების ასეთი ხერხი ენერჯის დიდ ხარჯს მოითხოვს — 29 მვტ-ს/ტ. აქედან 70% უნეულოდ ელექტროლიზზე მოდის.

მაგნიუმ-ლითიუმის შენადნობის მიღება. ზოგიერთი უმსუბუქესი საკონსტრუქციო მასალებისათვის საჭიროა ლითიუმისა და მაგნიუმის საფუძველზე დამზადებული ლიგატურა. ასეთი ლიგატურის მიღება შესაძლებელია ლლობილთა ელექტროლიზით — მყარ კათოდზე თხევადი შენადნობის წარმოქმნით. ელექტროლიტად კალიუმისა და ლითიუმის ქლორიდების ნაზავს (1 1) იღებენ, კათოდად — მაგნიუმის ლეროს. წარმოქმნილი შენადნობი ადვილლობადია და თხევადი სახით ჩამოიღვენთება კათოდიდან.

თხევადი კათოდის გამოყენებით შესაძლებელია აგრეთვე ტყვიალითიუმის, ლითიუმ-ვერცხლის, ტყვია-ბარიუმის, კადმიუმ-ბარიუმისა და სხვა შენადნობების მიღება.

ძნელლობადი ლითონების მიღება ელექტროლიზით

ძნელლობადი ლითონების — ტიტანის, ცირკონიუმის, ქრომის, ტანტალის, ნიობიუმის ელექტროლიზის მეთოდით მიღების საკითხი ჯერ კიდევ ამ ნახევარი საუკუნის წინათ წამოიჭრა, რათა შეეცლილიყო ლითონთერმული აღდგენის ძვირი პროცესები. აღმოჩნდა, რომ ელექტროლიზით შესაძლებელია საკმარისად მსხვილი და სწორა გეომეტრიული ფორმის მქონე კრისტალების მიღება. პროცესს ხელს უწყობს ლლობილში შესაბამისი ლითონის დაბალვალენტური კათიონების არსებობა.

ელექტროლიტში არ უნდა იყოს არასასურველი კათიონები, სინესტე, კაემიწის, მაგნიუმისა და კალციუმის ქანგები. ლლობილსა და აირად ფაზაში დაუშვებელია წყალბადისა და აზოტის არსებობა.

ელექტროლიზისათვის ნავარაუდები ძნელლობადი ლითონების ქლორიდებს საკმაოდ დაბალი კუთრი ელექტროგამტარობა და ორთ-

ქლის მაღალი დრეკადობა ახასიათებთ. ამიტომ მათ მხოლოდ მცირე, 3—12%-ის ოდენობით ამატებენ გამლვალ მარილნარევეში. ეს ამცირებს გამოსალექი ლითონის იონთა აქტივობას. მაგრამ მათი კონცენტრაცია საკმარისი უნდა იყოს, რათა კათოდზე ან ხსნად ანოდზე, კონცენტრაციული პოლარიზაციის შედეგად, არასასურველი იონების წარმოქმნა და განმუხტვა არ მოხდეს.

ლითონის ანოდური გახსნისას წარმოიქმნება სუბნაერთები. თუ მათი კონცენტრაცია დასაშვებს გადაჭარბებს, მოსალოდნელია დაშლადისპროპორციონირების რეაქციით, რაც დისპერსიული ნაწილაკების წარმოქმნას იწვევს. ამ არასასურველი მოვლენის აღკვეთის მიზნით, საჭიროა დაბალვალენტიანი იონების კონცენტრაციისა და აქტივობის შემცირება, რასაც სხვა მარილის დამატებით აღწევენ.

აქტივობას განსაკუთრებით ამცირებს ფტორის ანიონები, რომელთაც ნატრიუმისა და კალციუმის ფტორიდების ან ორმაგი მარილების სახით ამატებენ ლობილს. წარმოიქმნება კომპლექსნაერთები, რომლებიც ძნელლლობადი ლითონების აქტივობის შემცირებას უწყობენ ხელს.

ანოდის მასალად გამოყენებულია მაღალი სისუფთავის გრაფიტი. კათოდის როლს უმთავრესად თვით ტიგელი ასრულებს. მისი მასალა არ უნდა ურთიერთქმედებდეს გამოლექილ ლითონთან. ასეთად ჩვეულებრივად გამოყენებულია ქრომ-ნიკელ-მოლიბდენიანი მსურვალ-მტკიცე ფოლადები. ანოდზე დენის შედარებით დიდი სიმკვრივე გვაქვს (2—3 ა/სმ²), რათა დაეთრგუნოთ ლითონის დაბალვალენტიანი იონების დაჯანგვის რეაქცია.

ლითონის ანოდების გახსნა უმთავრესად დაბალვალენტიან კათიონებს წარმოქმნის, რაც კათოდური პროცესისათვის ხელსაყრელია (მათ განმუხტვაზე ნაკლები დენი იხარჯება). დენის სიმკვრივის გაზრდა კი მაღალვალენტიან იონებს გვაძლევს და პოტენციალი ელექტროდადებითი მნიშვნელობისაკენ იხრება. ხსნადი ანოდების შემთხვევაში დენის სიმკვრივე მცირეა — 0,2—0,5 ა/სმ². დაბალი ვალენტობის მქონე იონის აღდგენა უფრო ადვილია, მაგრამ ამ დროს პოტენციალის მნიშვნელობა ელექტროუარყოფითი ხდება, განსაკუთრებით ფტორიდიან ელექტროლიტში. მინარევების განმუხტვის თავიდან ასაცილებლად ასეთი ელექტროლიტების გამოყენებას ზოგჯერ გაურბიან, რათა კათოდზე დენის სიმკვრივის მაღალი მნიშვნელობა შევიწარმოებოთ.

ძნელლლობადი ლითონების მისაღებად უფრო ხშირად ჰერმეტიკულად დახურული დანადგარებია გამოყენებული. პროცესი ინერტული აირის ატმოსფეროში ტარდება.

ტიტანისა და ვანადიუმის ადვილად აქროლადი ქლორიდები მუდ-

მივად მიეწოდება ელექტროლიტში; აქ ხდება მათი ნაწილობრივ აღდგენა და შთანთქმა.

მარილები მაღალი სისუფთავის უნდა იყოს. მათ ალღობენ ვაკუუმში, ხოლო შემდეგ ახდენენ გრანულირებას არგონის ატმოსფეროში. თვით ინერტულ აირს კი წინასწარ წმენდენ მისი თიხამიწის, ფოსფორის ქანვისა და ღრუბლოვანი ტიტანის ფენაში გატარებით 800°-ზე, ზოგჯერ ამ მიზნით თხევად ლითიუმსაც იყენებენ. აირის გაწმენდის ხარისხს ამოწმებენ ლითიუმის ახალი გადანაპერი ზედაპირით — თუ იგი მქრქალდება. მაშასადამე, აირი დამატებით გაწმენდას საჭიროებს.

მარილებს ჰერმეტიკულ ტარაში ინახავენ.

ტიტანი. უკანასკნელი ათეული წლების გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ტექნიკური პროგრესი ტიტანის გარეშე შეუძლებელია. პრაქტიკულად დამტკიცდა ამ ლითონის შენადნობების გამოყენების ეფექტურობა დანადგარების, ხელსაწყოების, მანქანებისა და მექანიზმების დამზადების საქმეში. მართალია, ტიტანის შენადნობები ალუმინისაზე უფრო ძვირია, მაგრამ მაღალი კუთრი სიმტკიცისა და ზღვის წყალსა და სხვა აგრესიულ გარემოში კოროზიამედგობის გამო ტიტანი კარგი მასალა აღმოჩნდა ქიმიური, ნავთობქიმიური, ქალაქცელულოზის, ღვინისა და სინთეზური მასალების წარმოებაში, გალვანოტექნიკაში, ფერადსა და შავ მეტალურგიაში, კვებისა და ენერგომანქანათმშენებლობაში, განსაკუთრებით საზღვაო და სამდინარო გემების დიდი სხმული ხრახნების, ძრავებისა და დიზელების მაღალი დატვირთვის ქვეშ მომუშავე დეტალებისა და უკუქცევ-გადატანითი სისტემების დასამზადებლად. სხვა ლითონების მცირე რაოდენობით ლეგირება ტიტანის მექანიკურ და დრეკადობის თვისებებს საგრძნობლად ზრდის. 1 ტ ტიტანს 6—15 ტონამდე ფოლადის ეკონომია შეუძლია გასწიოს. იგი საგრძნობლად ამცირებს უქანგავი ფოლადების, ნიკელისა და სხვა დეფიციტური მასალების ხარჯს.

ტიტანი არის ბიოლოგიურად ინერტული მასალა და ამიტომ მისი გამოყენება შესაძლებელია ცოცხალი ქსოვილების დასაკავშირებლად²¹.

ყოველივე ამის გამო ტიტანის მეტალურგიის საკითხი სამი ათეული წელია მწვავედ დგას. იგი ჯერ ისევ საკმაოდ ძვირია. გაიაფების შემთხვევაში მას გამოყენების კიდევ უფრო ფართო შესაძლებლობა ესახება. ვარაუდობენ, რომ საუკუნის ბოლოს მოთხოვნილება მასზე მილიონ ტონას მიაღწევს წლიურად.

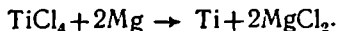
კარგი შედეგებია მიღებული ტიტანის წილების გამოდნობის, მა-

²¹ ტიტანის, ცირკონიუმისა და ნიობიუმის თვისებათა და გამოყენების შესახებ იხ. „ახალი ტექნიკის ლითონები“ (გამომცემლობა „მეცნიერება“, 1964 წ.).

დან-კონცენტრატებიდან გადამუშავებისათვის ვარგისი ნედლეულის მომზადებისა და სელექციური დაქლორვის მიმართულებით.

ტიტანის 110-მდე მინერალია ცნობილი. მათგან სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს რუტილს (TiO_2), ილმენიტს ($FeO \cdot TiO_2$), ტიტანო-მაგნეტიტს ($FeO \cdot TiO_2 - Fe_2O_3$), არიზონიტს ($Fe_2O_3 \cdot 3TiO_2$), ლეიკოკსენს ($TiO_2 \cdot 2H_2O$), პეროვსკიტს ($CaO \cdot TiO_2$), ლოპარიტს ($Na_2O - CaO - Ce_2O_3 \cdot TiO_2 - Nb_2O_5 \cdot Ta_2O_5$).

ტიტანის მიღების სამრეწველო ტექნოლოგია ჯერ კიდევ თერმულ მეთოდს ემყარება — ტიტანოთხქლორის აღდგენას ძვირადღირებული მაგნიუმით ან ნატრიუმით:



ბოლო წლებში გამოიკვეთა იმედის მომცემი შედეგები მისი ელექტროლიზური ხერხით მიღების ირგვლივაც. პროცესი ხორციელდება უწყვეტად, მიიღება მაღალი სისუფთავის პროდუქტი — ფხენილის სახით, რომლისგანაც ადვილად შეიძლება დამზადდეს სხვადასხვა ნაკეთობა. ტიტანის გამოყენების ხარისხი ამ დროს 20-დან 80-მდე იზრდება.

ნარჩენების გადამუშავებით შესაძლებლად არის მიჩნეული ტიტანის თხელი ფურცლების უშუალოდ მიღება, რაც გამორიცხავს მისი გადადნობისა და გაგლინვის საჭიროებას.

ელექტროლიტის მომზადების პირველ საფეხურზე ოთხქლორიდს წყალბადით აღადგენენ სამქლორიდამდე, ხოლო შემდეგ — $TiCl_2$ -მდე (წინასწარი ელექტროლიზით), რომელიც იხსნება ბარიუმის, კალციუმისა და ნატრიუმის ქლორიდების ევტექტიკურ ლობილში ($500 - 800^\circ C$). პროცესის უწყვეტობას განაპირობებს ცვლადი კათოდის გამოყენება. დენით გამოსავალია 75%.

შესაძლებლად არის მიჩნეული აგრეთვე დიაფრაგმიანი აბაზანის გამოყენება ფოლადის კათოდით, რომლის კოაქსიალურად უშუალოდ მიეწოდება $TiCl_4$ -ის ქავლი. ელექტროლიტად ნაგულისხმევია ლითონისა და კალიუმის ქლორიდების ევტექტიკური ნაზავი, რომელიც საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზე ღვება ($240 - 300^\circ$).

ვარაუდობენ, რომ ტიტანის ელექტროლიზური ხერხით მიღების შემთხვევაში ენერჯის ხარჯი $1/3$ -ით ნაკლები იქნება, ვიდრე მაგნიუმ-თერმული პროცესის დროს გვაქვს.

პერსპექტიულად ითვლება უშუალოდ ნედლეულის (ილმენიტის) ბუნებრივი აირით აღდგენის შედეგად მიღებული ტიტანის ოქსიკარბონიტრიდისა და ოქსიკარბიდის ელექტროლიზი $NaCl - KCl$ -ის ლობილში, რომელშიაც 5%-მდე ტიტანის დაბალვალენტიანი ქლორიდებია გახსნილი. პროცესის ტემპერატურა არის $800^\circ C$, დენის სიმკვრივე კათოდზე — $1,0$ ა/სმ².

ტიტანი, როგორც გარდამავალი ჯგუფის ელემენტი, ადვილად რეაგირებს თავისივე მაღალი ვალენტობის მქონე იონებთან სამ- და ორ-ვალენტიანი იონების წარმოქმნით. ლობილიში დადგენილია ტიტანის მონოქლორიდის არსებობაც (მაღალ ტემპერატურაზე), მაგრამ იგი უმდგარაია. დისპროპორციონირების რეაქციის გამო²² ლითონი დისპერიული ნაწილაკების სახით გამოიყოფა ლობილიში.

კათოდის პოტენციალს საკმაოდ ელექტროუარყოფითი მნიშვნელობა აქვს, რაც გამოიწვევს გამოყოფილი ტიტანის ქიმიურად გახსნას.

ანოდზე წარმოქმნილი ტიტანის ორვალენტიანი იონების უფრო სრულად განმუხტევის ხელს უწყობს კათოდზე მაღალი დენის სიმკვრივე (2—3 ა/სმ²). დენით გამოსავლის 80% ორვალენტიანი ტიტანის განმუხტევაზე იხარჯება.

ანოდზე წარმოქმნილი და კათოდზე განმუხტული ორ- და სამვალენტიანი იონების რაოდენობა პრაქტიკულად არ ეთანადება ერთმანეთს. ოპტიმალური დენით გამოსავალი შეესაბამება საშუალო ვალენტობას 2,4, მაშინ, როდესაც ანოდზე წარმოქმნილი იონების საშუალო ვალენტობა 2,1-ს არ აღემატება. მაშასადამე, ლობილი თითქოს უნდა მდიდრდებოდეს ტიტანის იონებით. სინამდვილეში კი პირიქით ხდება, რაც დისპროპორციონირების რეაქციებით არის გამოწვეული.

მაშასადამე, ტიტანის იონები ნაწილობრივ აკლდება ლობილს. საჭირო ხდება ტიტანის ორ- ან სამვალენტიანი გამდიდრებული ახალი ელექტროლიტის დამატება. სამქლორიდის კონცენტრაცია კი ოთხჯერ მეტი შეიძლება იყოს.

ოპტიმალურ პირობებში ფოლადის კათოდზე 2—5 მმ-იანი კრისტალები ილექება. მინარევები საგრძნობლად აუარესებენ მის ხარისხს.

ტიტანის რაფინირებისათვის საჭირო ელექტროლიტს აზადებენ ოთხქლორიდის ორთქლის გატარებით მყარი ღრუბლოვანი ტიტანისა და მყარი ან გამლღვალ ნატრიუმქლორის ნარევი. ორ- და სამქლორიდის საერთო რაოდენობა მიღებულ ნაზავში 40%-მდე შეიძლება ავიდეს.

რაფინირებისათვის შემუშავებულია საკმაოდ მძლავრი ჰერმეტიკული ელექტროლიტების კონსტრუქცია (10—30 გ). დენით გამოსავალი

²² დისპროპორციონირება — თვითდაქანგვა-თვითაღდგენის პროცესი, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ნაერთები, რომლებშიაც ელემენტები უფრო დაქანგულ და უფრო აღდგენილ მდგომარეობაში შეიძლება იყოს, თავდაპირველად არსებულ მდგომარეობასთან შედარებით:



დისპროპორციონირება გაპირობებულია ატომის ორთვე მდგომარეობას სავალენტო ელექტრონების ენერგეტიკული დონეების სიახლოვით.

60—80% -ის ფარგლებშია. ელექტროენერგიის საერთო ხარჯი 1 კვ ლითონზე 23—24 კვტ-ს აღწევს.

ტიტანის რაფინირება ელექტროლიზით. სუფთა ტიტანზე მოთხოვნილების ზრდამ და მისი ნარჩენების — „ნედლი“ ტიტანის, შენადნობებისა და მექანიკური დამუშავების შედეგად დარჩენილი ბურბუშელების გადამუშავების საჭიროებამ აუცილებელი გახადა ტიტანის რაფინირების ელექტროლიზური ხერხის შემუშავება.

მართალია, მაღალი სისუფთავის ტიტანის მიღება მისი იოდიდის თერმული დისოციაციის მეთოდითაც შეიძლება, მაგრამ შესაბამისი აპარატურა მცირე მწარმოებლობისა და გაზრდილ მოთხოვნილებებს ვერ აკმაყოფილებს.

რაფინირება მიმდინარეობს ნატრიუმქლორისა და ტიტანსამქლორის ნარევიში, რომელსაც 10—12% ორქლორიდიც ემატება. კათოდად გამოყენებულია ფოლადის ლეროები. პროცესი 850—900°-ზე მიმდინარეობს.

ტიტანის ნარჩენები იზვირთება ფოლადის ბადე-კალათაში. ეს უკანასკნელი ანოდურად არის პოლარიზებული და ამიტომ არ იხსნება. თვითნებურად არც ტიტანის გახსნა ხდება. პირველ საფეხურზე ყველაზე ელექტროუარყოფითი პოტენციალის მქონე რეაქცია მიმდინარეობს — ლითონური ტიტანის დაჟანგვა ორვალენტიან იონამდე, პოლარიზაციისა და დენის სიმკვრივის გაზრდა კი სამვალენტიანი იონების წარმოქმნას უწყობს ხელს.

0,4—0,5 ა/სმ² დენის სიმკვრივეზე ორ- და სამვალენტიანი ტიტანის იონები თანაბარი რაოდენობით გადადის ხსნარში.

დაბალვალენტიანი იონების მისაღებად (რათა მათ განმუხტვაზე დენის ნაკლები რაოდენობა დაიხარჯოს), ანოდზე საჭიროა დენის დაბალი სიმკვრივე.

ტიტანის განმუხტვის პროცესი შემდეგ საფეხურებს მოიცავს: ჯერ მიმდინარეობს უფრო ელექტროდადებითი რეაქცია — სამვალენტიანი ტიტანის აღდგენა ორვალენტიანამდე. პოლარიზაციის გაზრდა კი ნაკლებად ელექტროდადებით რეაქციასაც იწვევს, სახელდობრ. ლითონის გამოლექვას მისი როგორც ორ-, ისე სამვალენტიანი იონებიდან.

ბოლოს ორივე რეაქცია ერთდროულად მიმდინარეობს.

ცი რ კ ვ ნ ი უ მ ი ს მისაღებად ძირითადად აგრეთვე მაგნიუმთერმული ან ნატრიუმთერმული ხერხია გამოყენებული.

დამუშავებულია ფტორიდულ-ქლორიდული (K_2ZrF_6-KCl ან $K_2ZrF_6-KCl-NaCl$ -ის) ლობილის ელექტროლიზის მეთოდიც (700—800°) საკმაოდ მაღალი (4,5 ა/სმ²) დენის სიმკვრივით და გამოსავლით (80%-მდე). მაგრამ ამ დროს ელექტროლიტში ხდება ნატრი-

უმისა და კალიუმის ფტორიდების დაგროვება, რაც ართულებს პროცესის მიმდინარეობას. ელექტროლიტის გამოცვლის საჭიროება და მიწი ხელახალი ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავება ამცირებს ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ატომგულური ენერგეტიკის საჭიროებისათვის აუცილებელი აღმოჩნდა უაღრესად სუფთა (ჰაფნიუმისაგან თავისუფალი) ცირკონიუმის მიღება, რაც ე. წ. იოდიდური რაფინირების შედეგად არის შესაძლებელი. მეთოდი გულისხმობს დახშულ სისტემაში ამა თუ იმ ლითონის იოდიდის წარმოქმნას და მის შემდგომ დაშლას გავარვარებული მავთულის ლეროზე ე. წ. ტრანსპორტული რეაქციის შესაბამისად. ტიტანის მოსაცილებლად საკმარისია მავთულის გახურება 1200° -მდე, ალუმინისაგან განთავისუფლება კი უფრო მაღალ (1600°) ტემპერატურაზე ხდება.

პროცესზე გავლენას ახდენს დაბალვალენტიანი იოდიდების წარმოქმნისა და დისპროპორციონირების რეაქციების მიმდინარეობა.

მიმართავენ ელექტროლიზურ რაფინირებასაც. ანოდით ამ შემთხვევაში გამოყენებულია ცირკონიუმი, ელექტროლიტად — Cs_2ZrCl_6 -ისა და CsCl -ის (ან NaCl -ის) შემცველი ლობილი ($17,1 : 82,9$). პროცესის ტემპერატურა 720° -ის ფარგლებშია, დენის სიმკვრივე ~ 10 მა/სმ², დენის გამოსავალი — 45%.

კარგი სფეროიდული და დენდრიტული ნალექია მიღებული ელექტროლიტად ცირკონიუმისა და ცეზიუმის ქლორიდებისა და კალიუმფტორის ნაზავის ($6 : 89 : 5$) გამოყენებით (650°), მაგრამ დენის სიმკვრივე აქაც მცირეა (~ 25 მა/სმ²).

ბოლო წლებში ყურადღება მიექცა ცირკონიუმის მიღების კარბოთერმულ და პლაზმოქიმიურ მეთოდებს, უკეთესი ეკონომიკური მაჩვენებლების გამო.

ვ ა ნ ა დ ი უ მ ი ს ქ ე ვ ჯ გ უ ფ ი ს ლ ი თ ო ნ ე ბ ი. მაღალისი-სუფთავის ვანადიუმი იოდიდური მეთოდით მიიღება, მაგრამ ეს ძვირი ჯდება.

პერსპექტიულად არის მიჩნეული ლითონის რაფინირება კალიუმის ფტორიდისა და ქლორიდის ნარევეში 10—15% VCl_3 ან VCl_2 -ის დამატებით. აბაზანა ჰერმეტულად კარგად უნდა იყოს დახშული, ვინაიდან ჟანგბადის მცირე კვალიც კი საკმაოდ მედეგ ოქსიქლორიდებს წარმოქმნის. პროცესის ტემპერატურა 800 — 900° -ის ფარგლებშია ნავარაუდევო.

ვ ა ნ ა დ ი უ მ ი ს ქ ე ვ ჯ გ უ ფ შ ი ა ა გ რ ე თ ე ვ ე ნ ი ო ბ ი უ მ ი დ ა ტ ა ნ ტ ა ლ ი. მათი ქლორიდებისა და ფტორიდებისათვის დამახასიათებელია კომ-

პლექსნაერთების წარმოქმნა. მათ შორის ფტორტანტალატი K_2TaF_7 საკმაოდ მედეგია მშრალ ატმოსფეროში.

ორივე ლითონის ქლორიდების ტუტე ლითონით ან წყალბადით აღდგენა ნაკლებად აქროლად სამ- და ოთხვალენტიან ნაერთებს გვაძლევს, თვით ლითონთან გახურება კი ორვალენტთანაა. სისტემას დისპროპორციონირებისაყენ მიდრეკილება ახასიათებს. ფტორნიობატებისა და ფტორტანტალატების წარმოქმნა საგრძნობლად ამცირებს ხუთვალენტიანი იონის აქტივობას, რაც, თავის მხრივ, რეაქციის მარცხნივ გადახრას უწყობს ხელს.

ნიობიუმისა და ტანტალის მისაღებ ელექტროლიტად გამოყენებულია კალიუმქლორისა და კალიუმფტორის ნაზავი, რომელშიაც 8—10% ჟანგეულია გახსნილი.

რაფინირების შემთხვევაში ანოდური ეფექტის თავიდან ასაცილებლად ანოდზე მცირე დენის სიმკვრივეა (0,2—0,3 ა/სმ²). ეს ხელს უწყობს ორ- და სამვალენტიანი იონის წარმოქმნას, ხოლო მათ დაგროვებას და დისპროპორციონირების შესაძლებლობას კი ამცირებს.

ტექნიკურ ლითონს ღია აბაზანებში იღებენ. კათოდად გამოყენებულია მოლიბდენი. ტემპერატურა 750°-ის ფარგლებშია, დენით გამოსავალი 80%-მდე შეიძლება იყოს.

კათოდის მასას ამტერევენ, რეცხავენ მარილმჟავა წყლით, აშრობენ ვაკუუმში და ცრიან. ძირითადი პროდუქტის შემცველობა 99,9%-ს აღწევს.

უფრო მაღალი სისუფთავის მქონე ლითონის მისაღებად ელექტროლიტი ჟანგეულისა და სხვა გარეშე მინარევისაგან საგულდაგულოდ უნდა იყოს გაწმენდილი. ანოდად აიღება უმაღლესი სისუფთავის გრაფიტი. აბაზანა დახურული ტიპისაა. დენის სიმკვრივე კათოდზე საშუალოდ არის 0,7, ანოდზე კი 1,5—2,0 ა/სმ².

პრაქტიკაში გამოცდილი იყო აგრეთვე ქლორიოდინანი ლლობილები-სა და ანოდად ნიობიუმის (ან ტანტალის) ფხვნილისაგან დაწნეხილი და აღმდგენელ გარემოში შეცხოობილი ღეროების გამოყენება. მინარევების ამოსაორთქლად მიღებულ ლითონს ახურებენ ვაკუუმში მაღალ ტემპერატურაზე (2000°).

ქ რ ო მ ი ს ქ ე ე ჯ გ უ ფ ი ს ლ ი თ ო ნ ე ბ ი. ქრომის მიღება ალუმინთერმული ხერხით და წყალხსნართა ელექტროლიზითაც შეიძლება, მაგრამ პირველ შემთხვევაში სისუფთავე 98%-ს არ აღემატება, ხოლო ელექტროლიზით მიღებული ქრომი 0,01%-მდე ჟანგბადს, აზოტსა და წყალბადს შეიცავს (თითქმის ორჯერ მეტი მოცულობით, ვიდრე თვით ლითონის მოცულობაა).

აირებისაგან თავისუფალი ქრომის მიღება შესაძლებელი აღმოჩნდა ლობილთა ელექტროლიზით.

პერსპექტიულად ითვლება ალუმინთერმული ქრომის ანოდურად გახსნაც. ელექტროლიტად ამ შემთხვევაში ნავარაუდევია კალიუმქლორისა და ნატრიუმქლორის ნაზავი ქრომის ორ- და სამვალენტთან ქლორიდებთან. სისტემაში ხდება მტკიცე ქიმიური ნაერთების — KCl - $CrCl_3$ და $KCl \cdot CrCl_2$ -ის წარმოქმნა. კარგი შედეგი გამოიღო ლობილში ნატრიუმტორის დამატებამ.

სამვალენტიანი ქრომის ქლორიდის 4—9% შემცველობისას დენის სიმკვრივის მაღალ მნიშვნელობაზე (1—2 ა/სმ²) დენით გამოსავალი 35%-მდე შეიძლება იყოს. ტემპერატურაა 300°.

პერმეტული აპარატურისა და კარგად გაწმენდილი მარილნარევის (ნატრიუმქლორისა და ორვალენტიანი ქრომის ქლორიდის) ნაზავის გამოყენებით შესაძლებელია მაღალი სისუფთავის ჰედადი ქრომის მიღება.

ქრომის ქვეჯგუფის სხვა ლითონების — მ ო ლ ი ბ დ ე ნ ი ს ა და ვ ო ლ ფ რ ა მ ი ს მისაღებად ჩვეულებრივად მათი ჟანგეულების წყალბადით აღდგენას მიმართავენ. გამოყოფილი ფხვნილი გადამუშავების გრძელ გზას გადის, მაგრამ ლითონი მაინც არაპლასტიკური მიიღება. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილად იმ ლობილთა ელექტროლიზის მეთოდის გამოყენებაა.

აშშ-ში გამოცდილი იყო აბაზანა მბრუნავი კათოდით. ასეთ კათოდზე შეიძლება საკმაოდ მაღალი დენის სიმკვრივე გვექონდეს — 3—10 ა/სმ². ელექტროლიტად გამოყენებულია კალიუმქლორისა და ნატრიუმქლორის ნარევი K_3MoCl_6 -თან. მიიღება 99,99%-იანი ლითონი. ტემპერატურის დასაწევად ნატრიუმქლორს ლითიუმქლორით ცვლიან. ამ შემთხვევაში დენის დაბალი სიმკვრივისას (0,03 ა/სმ²) ლითონის მკვრივი ფენა მიიღება.

მოლიბდენის ანოდური რაფინირების პროცესი ჯერ კიდევ არ არის სათანადოდ შესწავლილი.

ნატრიუმვოლფრამატის ელექტროლიზი ვოლფრამის ფხვნილს იძლევა. დენის სიმკვრივეა 0,1 ა/სმ², ტემპერატურა — 900°, დენით გამოსავალი — 70%. ვარაუდობენ, რომ კათოდზე გამოიყოფა ნატრიუმი, რომელიც შემდეგ აღადგენს ვოლფრამს.

შესაძლებელია ხსნადი ანოდის გამოყენებაც, მაგრამ ამ შემთხვევაში საჭირო ხდება ელექტროლიტში დროდადრო ტუტის დამატება, რათა კათოდზე წარმოქმნილი დაბალვალენტიანი ვოლფრამის ის იონები, რომლებიც შემდეგ ანოდზე ექვსვალენტიანამდე იჟანგებიან, შევბოქოთ ვოლფრამის წარმოქმნით.

ასეთი ხერხით მიღებული ვოლფრამის სისუფთავე არც ისე მაღალია (99,5%). მისი კალციუმვოლფრამატისა და კალციუმქლორის ნაზავში რაფინირება უფრო სუფთა და პლასტიკურ ლითონს გვაძლევს.

ვოლფრამი შეელიტის კონცენტრატის უშუალო ელექტროლიზითაც შეიძლება მივიღოთ. გამხსნელად ამ შემთხვევაში ნატრიუმის ფოსფორმეაჟა მარილებია გამოყენებული.

ლლობილთა ელექტროლიზის მეშვეობით ხერხდება აგრეთვე ვოლფრამის დამცველი შრეების დაფენაც.

იშვიათმიწა ლითონები. ძნელლობადი იშვიათმიწა ლითონების, კერძოდ გადოლინიუმის ელექტროლიზით მიღების შესაძლებლობა კადმიუმის (ან თუთიის) თხევად კათოდზე ჯერ კიდევ ამ ხუთი ათეული წლის წინათ იყო დამტკიცებული. ელექტროლიტად იყენებდნენ გადოლინიუმქლორის, კალიუმქლორისა და ლითიუმქლორის ნარევს (44 : 44 : 12). პროცესის ტემპერატურა იყო 625°, დენის სიმკვრივე კათოდზე 7—8 ა/სმ². კადმიუმის მოცილება ხდებოდა 1250°-მდე გახურებით ვაკუუმში. ამავე მეთოდით მიღებული იყო ევროპიუმი და დისპროზიუმი. იტრიუმისა და პრაზეოდიუმის შემთხვევაში კათოდად გამოყენებული იყო კადმიუმ-მაგნიუმის შენადნობი, სკანდიუმისათვის კი — თუთია.

ამერიკული მონაცემების თანახმად, ლანთანის მიღება შესაძლებელია მისი ქანგიდან, რომელიც მცირე რაოდენობით (2%) იხსნება ლანთანის, ბარიუმისა და ლითიუმის ფტორიდების ნარევში. ლითონი თხევადი სახით გამოიყოფა მოლიბდენის მყარ კათოდზე და წვეთების სახით ვარდება ვოლფრამის ტიგელში. აბაზანა და ანოდები გრაფიტისაა. პროცესის ტემპერატურა 1000°-ის ფარგლებშია.

იშვიათმიწა ლითონების ქიმიური აქტივობის გამო აბაზანა ინერტული აირის გარემოშია მოთავსებული.

ლანთანი ელექტროლიტში სამვალენტიანი, ცერიუმი კი სამ-და ოთხვალენტიანი იონების სახით გვაქვს.

თორიუმი. თორიუმის მისაღებად გამოყენებულია ნატრიუმქლორისა და კალიუმქლორის ეკვიმოლარული ნარევი, რომელშიაც 15—20% — თორიუმქლორია გახსნილი. პროცესი მაღალთბამიწიანი ამონაგის მქონე ღია აბაზანაში ტარდება. ანოდი გრაფიტისაა კათოდი — მოლიბდენის.

მაღალი სისუფთავის თორიუმს იღებენ რაფინირებით — ლითიუმქლორის, კალიუმქლორისა და 35% თორიუმქლორის ნარევის ელექტროლიზით ჰერმეტიულად დახურულ აბაზანაში, არგონის ატმოსფეროში. პროცესის ტემპერატურაა 600°. დენის სიმკვრივე ანოდზე — 0,25 ა/სმ², კათოდზე — ორჯერ მეტი. დენით გამოსავალია 70%.

ადვილლლობადი მძიმე ლითონების მიღება და რაფინირება

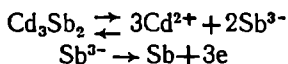
ტყვიის, თუთიის, ანთიმონის, ბისმუტისა და სხვა ადვილლლობადი მძიმე ლითონების მიღების პირომეტალურგიას ხუთ საუკუნეზე მეტი ხნის ისტორია აქვს და საკმაოდ სრულყოფილ ტექნოლოგიურ პროცესად ითვლება. ამასთანავე მათი მიღება წყალხსნართა ელექტროლიზის მეთოდითაც არის შესაძლებელი. მიუხედავად ამისა, უკრაინელი მეცნიერების (ი. დელიმარსკი, ო. ზარუბიცკი) ბოლო ათეული წლების კვლევებმა ცხადპყვეს, რომ ლობილთა ელექტროლიზის მეთოდების უპირატესობა საშუალებას იძლევა წარმატებით დავნერგოთ ეს მეთოდები ზემოხსენებული ლითონების მიღებისა და რაფინირებისათვის.

შესაბამისი პროცესების მიმდინარეობა გაპირობებულია, ერთი მხრივ, ლითონთა ხსნადობის მოვლენით გამლღვალ მარილებში, მეორე მხრივ კი, ინტერმეტალური ნაერთების მიღების შესაძლებლობით ელექტროდებზე.

პირველ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ლითონთა დაბალვალენტური ნაერთების (ე.წ. სუბნაერთების) წარმოქმნასთან, რაც ჩვეულებრივი ელექტროლიზის დროს უარყოფით მოვლენად ითვლება, ვინაიდან ამცირებს კათოდური დენით გამოსავალს. მაგრამ გამოინახა საშუალება, რათა ეს არასასურველი მოვლენა დადებითი ეფექტითაც გამოვიყენოთ.

რაც შეეხება კათოდზე დალექილ ინტერმეტალიდებს, ისინი ლობილთან წარმოქმნიან კოლოიდურ ხსნარებს. ელექტროლიზის შედეგად ანოდზე ხდება მათი დაჯანგვა, რა დროსაც ქიმიურად უფრო აქტიური ლითონი გადადის ხსნარში, ხოლო ნაკლებად უარყოფითი პოტენციალის მქონე ლითონი რჩება ანოდზე. ამგვარად საბოლოო ჯამში გვაქვს ლითონის კათოდიდან ანოდზე გადატანა.

ეს პროცესი, მაგალითად Cd_3Sb_2 -ის შემთხვევაში შემდგენაირად გამოისახება:



რაფინირების პროცესისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მინარევი ლითონების ელექტროქიმიურ მწყკრის. ეს მწყკრები ლობილებში ამგვარია:

Zn, Cd, Fe, Pb, Sn, Cu, Ag, Sb, Bi, Te, Au.

შემოთავაზებულია რაფინირების ოთხი მეთოდი:

1. რაფინირების ჩვეულებრივი მეთოდი — შენადნობის ძირითადი შემდგენელი კომპონენტის გახსნა ანოდზე და მისი გამოყოფა კათოდზე.

2. ანოდური რაფინირება — უფრო ელექტროუარყოფითი მინარეგების გახსნა ანოდზე და მათი გამოლექვა კათოდზე. პროცესს ხელს უწყობს დენის სიმკვრივის შემცირება ანოდზე და გაზრდა — კათოდზე.

3. კათოდური რაფინირება — ელექტროლიტის შემდგენელი ქიმიურად აქტიური ლითონის იონის (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} -ის) განმუხტვა რაფინირებისათვის განკუთვნილი თხევადი ლითონის კათოდზე შესაბამისი ინტერმეტალის წარმოქმნით მინარეგ ელემენტებთან. ინტერმეტალიდები ცალკე ფაზად გამოიყოფა კათოდზე ან იხსნება ელექტროლიტში დამუხტული კოლოიდური ნაწილაკების, მაგალითად, $\text{Na}_3\text{Bi} \cdot n\text{NaOH}(\text{OH})_x$, $\text{Na}_3\text{Bi} \cdot n\text{MeCl}_m(\text{Cl})_y$ -ის, ან მოლეკულური წარმონაქმნების ($\text{Na}_3\text{Bi} \cdot n\text{MeCl}_m$, $\text{Na}_3\text{Bi} \cdot n\text{NaOH}$ -ის) სახით; მათი შემდგომი განმუხტვით ანოდზე საბოლოო ჯამში გვაქვს ლითონის გადატანა კათოდთან ანოდზე (ი. დელიმარსკი, ო. ზარუბიცი, ვ. ბუნდუცი).

4. კათოდურ-ანოდური რაფინირება — იმ შემთხვევაში, როდესაც რაფინირებისათვის განკუთვნილ შენადნობში გვაქვს ძირითად კომპონენტზე უფრო ელექტროდადებითი და ელექტროუარყოფითი მინარევი ლითონები, გაწმენდის პროცესი მიმდინარეობს ორ საფეხურად: პირველად ტარდება კათოდური, ხოლო შემდეგ — ანოდური რაფინირება.

ორივე ეს პროცესი შესაძლებელია ერთსა და იმავე აბაზანაში და ლლობილში ჩატარდეს.

ტყვიის მიღებისა და რაფინირების საკითხი წამოიჭრა ძირითადად აკუმულატორების ნამუშევარი ფირფიტების რეგენერაციის საჭიროებასთან დაკავშირებით.

ტყვიის ჟანგის გამხსნელად უმჯობესი გამოდგა PbCl_2 და მისი ნარევი ნატრიუმის ან კალიუმის ქლორიდთან.

ელექტროლიზის შედეგად დადებითი პოტენციალის მქონე მინარეგები (ასეთებია: ბისმუტი, სტიბიუმი, კალა, სპილენძი, ვერცხლი) ტყვიასთან ერთად გამოილექება კათოდზე, უფრო ელექტროუარყოფითი პოტენციალის მქონე ლითონები კი რჩება ელექტროლიტში. დენით გამოსავალი 98% -ს აღწევს, ელექტროენერგიის ხარჯია 1,22 კვტ-ს/კგ.

ელექტროლიტად გამოიყენება აგრეთვე ნატრიუმის ტუტე, რომელშიც 34% -მდე PbO იხსნება.

ელექტროლიზის პირობები ამ შემთხვევაში ასეთია:

ტემპერატურა — 500°C

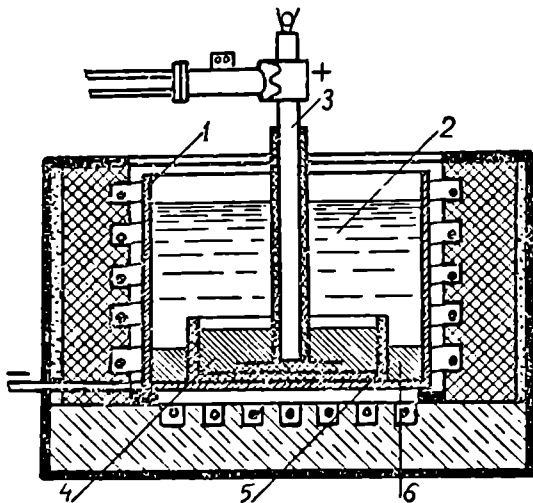
დენის სიმკვრივე კათოდზე — $0,125$ ა/სმ²

დენის სიმკვრივე ანოდზე — $0,27$ ა/სმ²

ძაბვა — $2,0$ ვ

ელექტროენერგიის ხარჯი — $0,9$ კვტ-ს/კვ.

ელექტროლიტად ტყვიის, თუთიისა და კალიუმის ქლორიდების ნაზავის (18 : 30 : 52) გამოყენება საშუალებას იძლევა მივიღოთ სუფთა ტყვია როგორც თხევად, ასევე მყარ მდგომარეობაში. მინარევების საერთო რაოდენობა მასში $0,6\%$ -ს არ აღემატება.



სურ. 75. ბისმუტის მისაღები საცდელ-სამრეწველო აბაზანა (2 კა). 1 — ცილინდრული ვარცლი; 2 — ელექტროლიტი; 3 — ანოდური სალტე; 4 — გამოსავალი შენადნობი; 5 — კვარცის ტიგელი; 6 — კათოდური ტყვია

ბისმუტით მდიდარი (16—37% Bi) ტყვია-ბისმუტის შენადნობის შემდგენელ კომპონენტებად დაცალკეება შესაძლებელია ჩვეულებრივი რაფინირების მეთოდით. ელექტროლიტად აიღება ZnCl_2 — PbCl_2 — KCl -ის (52 : 6 : 42) ლობილი. პროცესი შედარებით დაბალ (450°C) ტემპერატურაზე მიმდინარეობს. დენის სიმკვრივე ელექტროლებზე საკმაოდ მაღალია — 2 ა/სმ².

ელექტროლიზის შედეგად ტყვია იხსნება ლობილში და გამოილეკება კათოდზე, ანოდზე კი რჩება სუფთა ბისმუტი. მინარეცების შემცველობა მასში ჩვეულებრივად 0,01%-ს არ აღემატება.

ბისმუტით უფრო ღარიბი (1,5—9% Bi) შენადნობებიდან ტყვიის მოცილების პროცესს საფუძვლად უდევს ინტერმეტალური ნაერთების წარმოქმნის რეაქცია. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილად ითვლება კალიუმ-ნატრიუმის ქლორიდებისა და P_2O_5 -ის შემცველი ელექტროლიტის გამოყენება. პირველ საფეხურზე მიმართავენ კათოდურ რაფინირებას, რის შედეგადაც ბისმუტი თავისუფლდება დარიშხანას, სელენისა და ნაწილობრივად სტიბიუმის მინარეცებისაგან. მეორე საფეხურზე ხდება ანოდური რაფინირება; ეს უზრუნველყოფს დანარჩენი მინარეცების გამოცალკევებას. პროცესი შედარებით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ($650^{\circ}C$) და კათოდურ-ანოდური დენის ნაკლები სიმკვრივისას (1,0 ა/სმ²) მიმდინარეობს.

თხევადი ბისმუტის კათოდის გამოყენებით გამლვალ ტუტის ($NaOH$ -ის) გარემოში შესაძლებელი აღმოჩნდა ნატრიუმის ბისმუტიდის (Na_3Bi -ის) მიღება.

ტყვი-კალას შენადნობის რაფინირების შედეგად $NaCl$ — KCl — $SnCl_2$ -ის (5 : 20 : 75) ლობილში მიიღება ბისმუტის, დარიშხანასა და სტიბიუმისაგან თავისუფალი შენადნობი. პროცესი ტარდება 500° -ზე.

კათოდურ-ანოდური რაფინირებისათვის შემოთავაზებულია $CaCl_2$ — KCl — $NaCl$ -ის (50 : 25 : 25) ლობილი (600 — $680^{\circ}C$). რაფინირების შედეგად As_2O_3 -ის შემცველობა 8,19-დან 0,33%-მდე მცირდება.

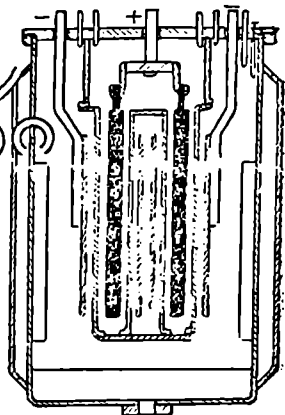
კათოდური რაფინირების პროცესში წარმოქმნილი ინტერმეტალიდები Ca_2As_2 , Ca_3Sb_2 და Ca_3Bi_2 გამლვალ ელექტროლიტში იხსნება; წარმოიქმნება სუბნაერთები, რომელთა ანოდზე განმუხტვის შედეგად ვიღებთ:



ანოდური რაფინირება კალციუმის, სპილენძისა და ტყვიის მინარეცების გამოცალკევების საშუალებას იძლევა.

9	
F	
18,9984	
19	232 ^o P ^o
$\rho_{23} = 1,696 \text{ გ/სმ}^3$ $t_f = -223^{\circ}\text{C}$ $t_c = -188,1^{\circ}\text{C}$ $\rho = 2,85$	

ფტორი



ყველაზე აგრესიული ელემენტი. ფტორი უალრესად აქტიური დაჟანგველია, ამასთანავე ძლიერ მომწამლავეც. საკმარისია აღინიშნოს, რომ იგი კეთილშობილ აირებთანაც იძლევა ნაერთებს და თვით ჟანგბადიც კი შეუძლია დაჟანგოს²³, ხოლო წყალბადთან მყარ მდგომარეობაშიც (-252°) რეაგირებს. 1 მგ/ლ ფტორწყალბადმჟავას კონცენტრაციას აღამიანი 1—2 წუთი თუ გაუძლებს, 0,5 მგ ნატრიუმ-ფტორის მიღება კი სასიკვდილო დოზად ითვლება.

ყოველივე ამის გამო ფტორის სამრეწველო მასშტაბით მიღება და მისი გამოყენება მხოლოდ უკანასკნელ ათეულ წლებში მოხერხდა, ისიც ურანის მრეწველობისა და რაკეტული ტექნიკის დაჟინებული მოთხოვნით.

ლღობილთა ელექტროლიზი არის ერთადერთი მეთოდი, რომლის მეშვეობითაც ხერხდება ამ აგრესიული აირის მიღება თავისუფალი სახით.

ფტორის არაჩვეულებრივი ქიმიური აქტივობა და ამავე დროს მისი ნაერთების სიმტკიცე გაპირობებულა იმ გარემოებით, რომ მას აქვს მცირე ატომური და იონური რადიუსი, ადვილად დისოცირდება ატომებად, რის გამოც რეაქციები ატომარული ფტორის მონაწილეობით მიმდინარეობს. ფტორი უერთდება პერიოდული სისტემის ყველა ელემენტს, აგრეთვე მარილებსა და ჟანგეულებს. ჩვეულებრივი ნახშირი ფტორის ატმოსფეროში ინთება, ორგანულ ნივთიერებათა უმრავლეს-

²³ ეს არის ფტორის ერთადერთი ენდოთერმული რეაქცია და ამიტომ იგი ელექტროგანმუხტვის რკალში ხორციელდება. მიიღება OF_2 .

სობა კი მასთან აფეთქებით რეაგირებს. აირად ფაზაში წყალბადთან რეაქციას ჯაჭვური განშტოებადი ხასიათი აქვს.

ამ ფონზე საკვირველად უნდა ჩაითვალოს, რომ ზოგიერთი ლითონი — ალუმინი, სპილენძი, რკინა, ქრომი, ნიკელი, ვერცხლი, კალა ფტორთან პრაქტიკულად არ ურთიერთქმედებს. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ მათ ზედაპირზე პირველსავე მომენტში წარმოიქმნება მტკიცე ქიმიური ნაერთის — ფტორიდის ფენა, რომელიც ამ ლითონებს შემდგომი დაუანგვისაგან იცავს.

მიღების სიძნელეები. ფტორის მიღებას თავისუფალი სახით ბევრი მკვლევარი ცდილობდა—პ. დევი, მ. ფარადეი, ი. ფრემი და სხვ., მაგრამ უშედეგოდ. წყალხსნარების ელექტროლიზის დროს ანოდზე განიშუხტება ჰიდროქსილიონი, ხოლო მალალ ტემპერატურაზე (ლღობილებში) ფტორი იმდენად აქტიურია, რომ მყისვე რეაგირებს ანოდის მასალასთან.

მხოლოდ ა. მუასანმა (1886) მოახერხა პირველად ფტორის მიღება ფტორწყალბადმქავესა და კალიუმფტორის ნარევის ელექტროლიზით პლატინის ჰურპელში პლატინისავე ანოდზე²⁴.

ფტორის მიღების ელექტროლიზური მეთოდის გამონახვის მიუხედავად, პროცესის სამრეწველო მასშტაბით განხორციელებას თითქმის ნახევარი საუკუნე დასჭირდა, ვინაიდან ძნელი აღმოჩნდა შესაფერისი კოროზიამდეგი მასალების გამოძებნა.

საანოდე მასალის შერჩევა ამჟამადაც პრობლემად ითვლება. ამ მიზნისათვის, მაგალითად, პლატინისა და პლატინა-ირიდიუმის შენადნობის, ნიკელის, ალუმინის, მონელლითონისა და მაგნიუმის გამოყენებამ არ გამოიღო სასურველი შედეგი, ვინაიდან ანოდური პოლარიზაციის დროს ზოგი მათგანი იხსნება, ზოგიერთის ზედაპირზე კი პასიური ფენა წარმოიქმნება. შედარებით უკეთესი თვისებები აღმოაჩინდა გრაფიტსა და საელექტროდე ნახშირს. პირველი მათგანი მედეგია ფტორისა და 30%-მდე ფტორწყალბადმქავეს შემცველ ლღობილში. რაც შეეხება საელექტროდე ნახშირს, მას თერმოდინამიკისა და ნავთობის კოქსისაგან ამზადებენ. იგი გრაფიტს არ უნდა შეიცავდეს. ასეთ ნახშირს, მართალია, პოლარიზაციისა და ანოდური ეფექტისადმი მომეტებული მიდრეკილება ახასიათებს და შედარებით ფოროვანია (ფტორი ატანს მასში, რაც ართულებს აბაზანის კონსტრუქციას), მაგრამ უკეთესი საანოდე მასალის გამოძებნა ჯერჯერობით ვერ მოხერხდა.

²⁴ ფტორის აღმოჩენისა და მისი ნაერთების გამოკვლევისათვის ა. მუასანს 1906 წელს ნობელის პრემია მიენიჭა.

მხოლოდ მას შემდეგ, რაც სხედასხვა ხარისხის უქანგავი ფოლადები გამოიცადა და სუფთა საელექტროდე გრაფიტისა და ნახშირის მიღების ტექნოლოგია დაიხვეწა, საფუძველი ჩაეყარა ფტორის მიღების სამრეწველო მასშტაბით განხორციელებას.

ამჟამად აშშ, ინგლისი, საფრანგეთი, გერ და იაპონია რამდენიმე ათეულ ათას ტონამდე ფტორის იღებს ყოველწლიურად, უმთავრესად ატომგულური მრეწველობის საჭიროებისათვის. რაც შეეხება ფტორწყალბადმჟავას, მისი წარმოება 200 ათას ტონას აჭარბებს. აქედან მესამედი ფტორორგანული ნაერთების მიღებას ხმარდება.

ფტორი ასამდე მინერალის შედგენილობაშია, მაგრამ სამრეწველო მნიშვნელობა ორ მათგანს აქვს — მინდვრის შპატსა (CaF_2) და კრიოლიტს (Na_3AlF_6). პირველი მათგანი საკმაოდ გავრცელებულია ხუთივე კონტინენტზე. ყოველწლიურად 2,5 მლნ ტონამდე მინერალს ამუშავებენ — უმთავრესად ფტორწყალბადმჟავას მისაღებად. კრიოლიტი კი მხოლოდ გრენლანდიაში მოიპოვება და ალუმინის მრეწველობის მცირე ნაწილსაც ვერ აკმაყოფილებს.

ამერიკელ მეცნიერთა ცნობით, ურანის ერთ-ერთი აირსადიფუზიო ქარხანასთან არსებული საამქროს შემადგენლობაში იყო 6 კა სიმძლავრის 40-მდე აბაზანა, რომელთა მწარმოებლობა 3,5 ტ ფტორს შეადგენდა დღელამეში.

პირველ ხანებში საკმაოდ გავრცელდა 2,5 კა სიმძლავრის მაღალტემპერატურიანი (200°) გერმანული აბაზანები კალიუმბიფტორიდის — $\text{KF} \cdot \text{HF}$ ელექტროლიტით, გრაფიტის ანოდებით და ვერცხლის პერფორირებული კათოდებით. ანოდებსა და კათოდებს შორის სივრცეს ცალ-ცალკე დიაფრაგმები ჰყოფდა ორად მთელ სიმაღლეზე. ეს განაპირობებდა ძაბვის მაღალ მნიშვნელობას. არასრულყოფილი იყო მაცივრის კონსტრუქცია.

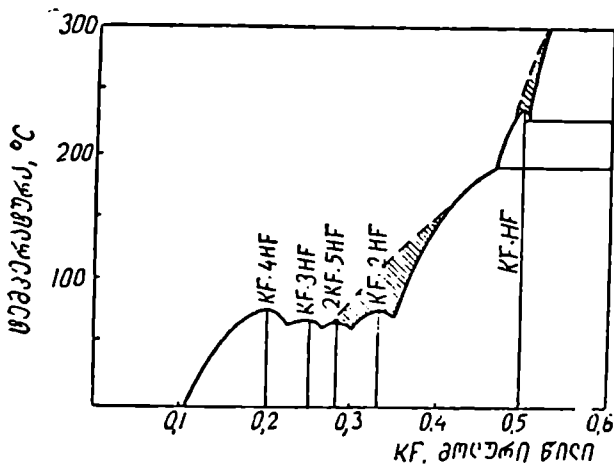
შემდგომში ჩატარებულ კვლევათა შედეგად მოხერხდა ე. წ. საშუალო ტემპერატურიანი დანადგარების შექმნა. ელექტროლიტად აქ გამოყენებულია კალიუმბიფტორიდი — $\text{KF} \cdot 2\text{HF}$. ეს საშუალებას იძლევა პროცესის ტემპერატურა 100° -მდე დავიყვანოთ. ამ შემთხვევაში საკონსტრუქციო მასალად შეიძლება გამოვიყენოთ რბილი ფოლადი. ანოდები საელექტროდე ნახშირისაა (ზოგჯერ ნიკელსაც იყენებენ), კათოდები კი ფოლადისა. მაცივარ აგენტად გამოყენებულია წყალი.

ელექტროლიტი. ფტორის მისაღებ ერთადერთ ელექტროლიტს წარმოადგენს კალიუმბიფტორისა და ფტორწყალბადმჟავას ნარევი. შესაბამისი ლობის დიაგრამების განხილვა გვიჩვენებს, რომ სის-

ტემაში წარმოიქმნება ევტექტიკური ტიპის ხუთი უბანი კონკრეტულად ლობადი ქიმიური ნაერთებით.

ჯერ კიდევ მ. ფარადეის მიერ იყო დადგენილი, რომ სუფთა ფტორწყალბადმქავეა დენს არ ატარებს, მაშასადამე, იგი არ დისოციირდება. კალიუმფტორიდთან წარმოქმნილი მქავე-მარილები კი გამლვეალ მდგომარეობაში მნიშვნელოვნად არიან დისოციირებული მოლეკულურ კომპონენტებად.

ელექტროლიზის დროს პროცესის ტემპერატურა და მქავეს კონცენტრაცია ლობილში უნდა შეესაბამებოდეს ერთ-ერთ იმ სამ უბანთაგანს (დიაგრამაზე ეს უბნები დაშტრიხულია), რომლის შიგნით ნაერთი KF · nHF თხვევად მდგომარეობაში გვექნება, ხოლო ფტორწყალბადმქავეს ორთქლის წნევა მასზე არ აღემატება 50 მმ ვ. წ. სვ.



სურ. 76. KF—HF-ის ლობის დიაგრამა

დიაგრამაზე (სურ. 76) წყვეტილი ხაზით გავლებულია იზობარული მრუდი, რომელიც ლობილის ზევით ფტორწყალბადმქავეს ორთქლის დრეკადობის ამ მნიშვნელობას შეესაბამება.

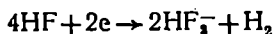
როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ამ მხრივ ყველაზე შესაფერისი აღმოჩნდა კალიუმფტორიდის, რომელიც საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზე (100°-ის ფარგლებში) შეიძლება გვექნოდეს თხვევადი სახით.

პრაქტიკამ აჩვენა, რომ სხვა ტუტე ლითონთა ფტორიდები ამ მიზნისათვის ნაკლებად გამოსადეგია. მხოლოდ 1—2% ლითიუმფტორის

დამატება მოქმედებს დადებითად — ამცირებს ნაზავის ლლობის ტემპერატურას და მყავას ორთქლის დრეკადობას, აჭრობს ანოდურ ეფექტს და სხვ. ზოგიერთ მახასიათებლებს აუმჯობესებს ნატრიუმფტორის დამატებაც, მაგრამ ერიდებიან ელექტროლიტის შედგენილობის გართულებას.

მიღებული ფტორის ხარისხი და ღენის გამოყენება დიდად არის დამოკიდებული ელექტროლიზის შემდგენელი კომპონენტების სისუფთავეზე. მინარევეები — სინესტე, სულფატები, ქლორიდები, სილიკატები მკვეთრად ამცირებენ ღენით გამოსავალს, აჭუჭყიანებენ პროდუქტს.

ელექტროლიზის მექანიზმი. გამლვალ ელექტროლიტში სავარაუდოა როგორც H^+ , K^+ და F^- -ის, ისე HF_2^- -იონების არსებობა. წყალბადიონების კონცენტრაცია მცირეა, რაც განაპირობებს მათი გადაძბვის მაღალ მნიშვნელობას იონიდან მოლეკულურ მდგომარეობაში გადასვლისას. ამიტომ წყალბადის გამოყოფა უფრო სავარაუდოა კალიუმის პირველადი განმუხტვისა და ფტორწყალბადმყავას მიერ ელექტრონის მიერთების შედეგად:



ანოდზე ხდება ფტორისა და HF_2^- -იონების განმუხტვა. ეს უკანასკნელი პროცესი, როგორც ფიქრობენ, შემდეგი თანმიმდევრული საფეხურებისაგან უნდა შედგებოდეს:

1. იონების გადატანა მათი მიგრაციის, დიფუზიისა და კონვექციის შედეგად ლობილიდან ანოდის ზედაპირზე.

2. იონის შესვლა ორმაგ ელექტრულ შრეში და ამ შრის წარმოქმნა.

3. ელექტრონის გადატანა.

4. თერმული რეკომბინაცია.

5. წარმოქმნილი ნივთიერების მოცილება ელექტროდთან მიმდებარე შრიდან დიფუზიისა და კონვექციის მეშვეობით.

ფტორის მიღება ელექტროლიზით. ტექნიკური ელექტროლიზი საკმაოდ მაღალ ძაბვაზე ხორციელდება (8—12 ვ), რაც პოლარიზაციით და გადაძბვით არის გაპირობებული. დამტკიცებულია, რომ ელექტროლიტი შედარებით ცუდად ასველებს ანოდის ზედაპირს, რადგან იგი ნახშირბადის მყარი ფტორიდების თხელი ფენით არის დაფარული. ანოდზე გამოყოფილი აირის ბუშტულაკი ჰიდროსტატიკური ძალებით მჭიდროდ ეკვრის ანოდს და ძნელად ცილდება მას. ამგვარად, ელექტროლის ზედაპირის გარკვეული ნაწილი ეკრანირებულია ელექტროლიტისაგან.

ტემპერატურისა და დენის სიმკვრივის მცირე ხნით მომატება და-
ლებითად მოქმედებს პროცესის მსვლელობაზე; ამ დროს ხდება ელექ-
ტროლიტისა და ანოდის შეხების ზედაპირული შრის გადახურება, რაც
აძლიერებს ანოდური აირის ნახშირბადთან ურთიერთქმედებას. წარ-
მოქმნილი აქროლადი პროდუქტები ანოდის ზედაპირს ათავისუფლებენ
ფტორნახშირბადის თხელი ფენისაგან. სწორედ ეს განაპირობებს
ელექტროლიტის მიერ ანოდის შესველების უნარის გაზრდას და პრო-
ცესის ნორმალურ მიმდინარეობას.

ამავე ხერხს მიმართავენ ანოდური ეფექტის ჩასახშობადაც.

ნაირგვარ კონსტრუქციებს შორის უფრო მეტი გავრცელება ჰპოვა
სწორკუთხა აბაზანებმა პარალელურად განლაგებული ბრტყელი ვერ-
ტიკალური ელექტროდებით. ანოდები (ნახშირის ბლოკები ან ღრუ-
ცილინდრები) ფოლადის ზარხუფშია მოთავსებული. დენის მიყვანა
სპილენძის ლეროებით ხდება. ზარხუფი ელექტროლიტში 100—150 მმ
სიღრმეზეა ჩაშვებული, რაც გამორიცხავს ფტორის მოხვედრას კათო-
დურ არეში. კათოდებად გამოყენებულია ფოლადის ბრტყელი ფურ-
ცლები, რომლებიც ელექტროლიტის ცირკულაციის გაადვილების მიზ-
ნით პერფორირებულია. თვითეული მათგანი აბაზანის სახურავთან
არის მიდუღებული. ეს უკანასკნელი დენის მიმყვანის როლსაც ასრუ-
ლებს.

აბაზანა იზოლირებულ კაბინაშია მოთავსებული, ელექტროლიზის
შედგად დახარჯული ფტორწყალბადმქაევას დამატება სათანადო მი-
ლის (ბარბოტირის) მეშვეობით ხდება.

აბაზანა ორკედლიანია — ორთქლისა და მაცივარი წყლის ცირკუ-
ლაციისათვის.

აშშ-ის ქარხნებში ფართოდ გავრცელდა ჰუკერის ტიპის 4 და 6 კა
სიმძლავრის მქონე აბაზანები. მათი კორპუსი მონელ-ლითონისაგან
არის დამზადებული. მასში სიგრძივ დატანებულია მონელ-ლითონის 12
მაცივარი მილი, რითაც იგი ორ თანაბარ სექციად იყოფა. ყოველ მათ-
განში თითო ანოდური და კათოდური კომპლექტია მოთავსებული.
ანოდი 8 წყვილი საელექტროდე ნახშირის ბლოკისაგან შედგება. ფო-
ლადის სახურავთან მიდუღებულია ორი სწორკუთხა ზარხუფი, რომე-
ლიც ელექტროლიტში 100 მმ სიღრმეზეა ჩაშვებული. აბაზანა 1360 კგ.
ელექტროლიტს იტევს.

კათოდად აღებულია ფოლადის 6 მმ-იანი ფურცლები, რომლებიც
ანოდისაგან 35 მმ-ის დაშორებით არის ჩაკიდული.

ზარხუფის გაგრძელებაზე დამაგრებულია მონელ-ლითონის ბადე-
დიაფრაგმა 2—3 მმ-იანი ნასვრეტებით. ბადე იზოლირებულია სახუ-
რავისაგან.

ფტორი გროვდება ზარხუფში, წყალბადი კი გამოიყვანება მილაკე-
ზით. სახურავში დატანებულია ბარბოტერი მყავას დასამატებლად. მი-
სი კონცენტრაცია 42—40%-ის ფარგლებში უნდა იყოს. დენის სიმ-
კვრივე ანოდზე არის 0,154 ა/სმ². დენით გამოსავალია 90%.

სათაურში ნაჩვენებია ინგლისური კონსტრუქციის 6 კა-იანი სამ-
რეწველო ელექტროლიზური ძლიერფორიანი ანოდური ფირფიტებით.
ელექტროლიზერის მომსახურება (მყავას ორთქლის მიწოდება, აირის
შედგენილობის ანალიზი, აირების წნევის, ელექტროლიტის დონის,
აგრეთვე ძაბვის, დენის ძალის, ტემპერატურის რეგულირება) მაქსიმალ-
ურად არის ავტომატიზებული.

ელექტროლიზის შედეგად მიღებული ფტორი 15%-მდე (მოც.)
ფტორწყალბადმყავას შეიცავს. ეს უკანასკნელი აუარესებს ფტორის
შემდგომი გამოყენების ხარისხს. ამასთანავე იგი თვითონ არის ძვირ-
ფასი ნედლეული (ფტორის თვითღირებულების ნახევარი სწორედ მას-
ზე მოდის), ამიტომ მისი დანაკარგების შემცირებას და წარმოების
ციკლში დაბრუნებას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ფტორწყალბადმყავას შემოჭვა ნატრიუმისა და კალიუმის ფტორი-
დების მეშვეობით ხდება სათანადო მყავა მარილის წარმოქმნით, რაც
საკმაოდ რთული ტექნოლოგიური პროცესია.

გავრცელებულია მყავას გამოყინვის ხერხიც (—50 —70°-ზე, წნე-
ვის ქვეშ), ხშირად მიმართავენ ორივე მეთოდის კომბინაციასაც.

აირადი ფტორი შეიძლება სხვა მინარევებითაც იყოს გაჭუჭყიანე-
ბული. OF₂, მაგალითად, წარმოიქმნება ელექტროლიტის დანესტიანე-
ბის შედეგად, ხოლო ფტორორგანული ნაერთები — ანოდის ნახშირ-
თან ურთიერთქმედების გამო; აზოტი, ჟანგბადი, ნახშირორჟანგი სა-
ბოლოო პროდუქტში ხვდება ჰაერიდან, SiF₄ შეყვება თვით ფტორ-
წყალბადმყავას. აირში არის ელექტროლიტის მტვერიც; ყველა ამ მი-
ნარევის საერთო რაოდენობა 1—3%-ის ფარგლებშია.

მინარევების უმრავლესობა ფტორს სცილდება ლითონკერამიკულ
ფილტრებში. ფილტრებიდან აირი გადაიქაჩება დაბალტემპერატურულ
კონდენსატორში, საიდანაც საჭიროების მიხედვით მიეწოდება ამოორ-
თქლებელში (მომხმარებლისათვის).

თუ ფტორის წარმოება და მოხმარების ადგილი დაშორებულია
ურთმანეთისაგან, იგი გადაიტანება ცისტერნებით და ინახება სპეცი-
ალურ ტანკებში.

გ ა მ ო ყ ე ნ ე ბ ა. ფტორი უმთავრესად ატომურ-ენერგეტიკულ
პრეწველობაში გამოიყენება. ურანის ექვსფტორიდის მიღების ერთად-
ერთი სამრეწველო მეთოდი სწორედ ურანის ნაერთების უშუალო
ფტორირებას ემყარება. ბერილიუმფტორის შემცველი ლობილი გა-

შოყენებულია ატომური რეაქტორის კედლებისა და ტიხრების დამ-
ცველ აგენტად. იგივე ნაერთი მოსახერხებელი ნედლეულია მყარი
რაკეტული საწვავის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტის სუფთა ბე-
რილიუმის მისაღებად. დიდი პერსპექტივები აქვს ფტორის გამოყენე-
ბას რაკეტულ ტექნიკაში, ვინაიდან როგორც ფტორი, ისე მისი ნაერ-
თები აზოტთან, ჟანგბადთან და ჰალოგენებთან რაკეტული საწვავის
ხველაზე უფრო ეფექტურ დამჟანგველებად ითვლება.

გარდა ამისა, აღსანიშნავია ფტორორგანული ნაერთების — ნაირ-
გვარი ფტორპლასტების, საცხი ზეთებისა და გამყოფი სითხეების,
რეფრაქტანტებისა და გამხსნელების წარმოება, რომელთა მასშტაბი
დღითიდღე ფართოვდება და იზრდება.

არაორგანული ფტორიდები, მეტალთა ფტორბერილატები და
ფტორარსენატები წარმატებით ინერგება ტექნიკის ახალ დარგებში.
ლითიუმფტორარსენატი, კერძოდ, არის უნიკალური ნაერთი როგორც
ელექტროლიტი ენერჯის დიდი სიმკვრივის მქონე დენის წყაროები-
სათვის.

ЭЛЕКТРОЛИЗ

1. П. П. Федотьев. Электролиз в металлургии. Вып. II. — М.: Госхимиздат, 1934.
2. Ю. В. Баймаков, М. М. Ветюков. Электролиз расплавленных солей. — М.: Металлургия, 1966.
3. А. И. Беляев. Металлургия легких металлов. — М.: Металлургия, 1970.
4. П. Ф. Антипин и др. Электролиз расплавленных солей, ч. I, ОНТИ.— М.—Л., 1937.
5. Н. П. Федотьев, Л. Ф. Алабышев, А. Л. Ротинян и др. Прикладная электрохимия. — Л., 1967.
6. Ю. К. Делимарский. Химия ионных расплавов. — Киев: Наукова думка, 1980.
7. В. В. Стендер. Прикладная электрохимия. — Харьков: изд. Харьковского университета, 1961.
8. М. М. Ветюков, В. А. Асыкбаев, Ю. В. Плотников. Физико-химические свойства систем: расплавленная соль-металл. — Тр. ЛПИ. Металлургия цветных металлов, 1963, 123, 35.
9. Е. А. Укше, Н. Г. Букун. Успехи химии, 1961, XXX, 2, 293.
10. А. И. Беляев, Е. А. Жемчужина, Л. А. Фирсанова. Физическая химия расплавленных солей. — М.: Металлургиздат, 1957.
11. Л. Н. Антипин, С. Ф. Важенни. Электрохимия расплавленных солей. — М.: Металлургиздат, 1964.
12. А. И. Беляев. История алюминия. — Тр. Института естествознания и техники, т. 20, изд. АН СССР, 1959.
13. И. Н. Китлер, Ю. А. Лампер. Нефелины и комплексное сырье алюминиевой промышленности. — М.: Металлургиздат, 1962.
14. Г. В. Лабутин. Алуныты. — М.: Металлургиздат, 1965.
15. А. И. Лайнер. Производство глинозема. — М.: Металлургиздат, 1961.
16. С. И. Кузнецов, В. А. Деревянкин. Физическая химия производства глинозема по способу Байера. М.: Металлургиздат, 1964.
17. А. И. Беляев. Физико-химические процессы при электролизе алюминия. М., Металлургиздат, 1967.
18. А. А. Костюков, И. Г. Киль и др. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия. — М.: Металлургия, 1971.
19. А. Л. Ротинян, А. А. Гальнбек, С. П. Суровцев. Цветные металлы, 1961, 10, 40.
20. Е. Ф. Чалых. Производство электродов. — М.: Металлургиздат, 1954.

21. С. И. Рампель. Анодный процесс при электролитическом производстве алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1961.
22. П. П. Федотьев, Н. И. Ворониц. Электролиз расплавленного криолита. ЛПИ, 1916.
23. А. И. Беляев, М. Ю. Раппопорт, Л. А. Фирсанова. Электрометаллургия алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1953.
24. Г. А. Абрамов, М. М. Ветюков, И. П. Гупало, А. А. Костюков, Л. Н. Ложкин. Теоретические основы электрометаллургии алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1953.
25. А. И. Беляев. Получение чистого алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1967.
26. А. Б. Сучков, И. А. Троицкий. Metallургия алюминия. — М.: Metallургия, 1965.
27. Г. Е. Каплан, Г. Ф. Силина, Ю. И. Остроушко. Электролиз в металлургии редких металлов. — М.: Metallургия, 1964.
28. С. Н. Школьников. Тр. ЛПИ. Электролиз в металлургии, 279. — М.: Metallургия, 1966.
29. რ. აგლაძე, ნ. ჰოფმანი. გამოყენებითი ელექტროქიმია. — თბილისი: გაბათლება, 1973.
30. ა. ავალიანი. ახალი ტექნიკის ლითონები. — თბილისი: მეცნიერება, 1964.
31. ა. ავალიანი. იშვიათი ლითონების გამოყენება ტექნიკაში. — თბილისი, 1957.
32. В. М. Гуськов. Электролитическое рафинирование алюминия. — М.: Metallurgizdat, 1945.
33. Ю. И. Остроушко. Литий, его химия и технология. — М.: Атомиздат, 1960.
34. А. Ф. Алабышев, К. Я. Грачев и др. Натрий, калий. — М.: Госхимиздат, 1959.
35. Г. Ф. Силина, Л. Э. Зарембо, Ю. И. Бертина. Бериллий. Химическая технология и металлургия. — М.: Атомиздат, 1960.
36. М. А. Эйдензон. Производство магния и хлора электролизом расплавленного хлористого магния. — М.: Metallургия, 1964.
37. Х. Л. Стрелец. Электролитическое получение магния. — М.: Metallургия, 1972.
38. Ю. К. Стефанюк. Metallургия магния. Итоги науки и техники, серия — metallургия цветных и редких металлов, 13. — М., 1980.
39. Н. А. Дорониц. Metallургия кальция. — М.: Атомиздат, 1963.
40. Х. Л. Стрелец, А. Ю. Тайц, Б. С. Гуляницкий. Metallургия магния. — М.: Metallurgizdat, 1960.
41. Г. В. Самсонов, В. А. Оболенчик, Г. М. Куличкина. К вопросу об электролитическом методе получения элементарного бора. ЖПХ, 1960, XXXIII, 6, 1965.
42. Н. П. Галкин, А. Б. Крутиков. Технология фтора. — М.: Атомиздат, 1968.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

ატომისა და კოსმოსის ეპოქის მასალები	3
ლობილთა ელექტროლიზის თავისებურებანი	10
გამლდვალ მარილთა თვისებები	30
ალუმინი	42
სამამულო ალუმინის მრეწველობის განვითარება	42
ალუმინის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები	44
ალუმინის წარმოების ისტორია	46
ალუმინის მადნები	51
თიხამიწის წარმოება	54
თიხამიწის მიღება შეცხოვის მეთოდით	63
თიხამიწის მიღება ალუნცტებიდან	70
კრიოლიტის წარმოება	72
ელექტროდების წარმოება	74
ალუმინის მიღების თეორიული საფუძვლები	78
დენითა და ენერგიით გამოსავალი	87
ელექტროლიტის კომპონენტების დაშლის ძაბვა	89
ალუმინის წარმოების ტექნოლოგია	98
ალუმინის აბაზანის „ავადმყოფობანი“	111
ალუმინის მიღება ქლორიდის დაშლით	113
უსაფრთხოების ტექნიკა და გარემოს დაცვა	114
ალუმინის რაფინირება	115
ლითიუმი	123
ნატრიუმი	133
კალიუმი, რუბიდიუმი, ცეზიუმი .	141
ბერილიუმი	143
მაგნიუმი	149
კალციუმი	171
სტრონციუმი და ბარიუმი	175
ბორი	178
ელექტროლიზი გამლდვალი ლითონის კათოდით .	181
ძნელდობადი ლითონების მიღება ელექტროლიზით	187
ადვილდობადი მძიმე ლითონების მიღება და რაფინირება	197
ფტორი	201
ლიტერატურა	208

რეცენზენტები: ტეჟნ. მეცნ. დოქტ. ვ. გაფრინდაშვილი
ტეჟნ. მეცნ. კანდ. რ. კვარაცხელია

დაიბეჭდა საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს დადგენილებით

სბ 2065

რედაქტორი ჯ. გველესიანი
გამომცემლობის რედაქტორი ი. ვოლკოვა
მხატვრული რედაქტორი გ. ლომიძე
ტექნორედაქტორი ე. ბოკერია
კორექტორი ე. ჩხარტიშვილი

გადაეცა წარმოებას 17.6.83; ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30.11.83;
ქალაქის ზომა 60×90¹/₁₆; ქალაქი № 2; ნაბეჭდი თაბახი 13,3;
საალრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 10,8
უე 01014 ტირაჟი 1300 შეკვეთა № 2124
ფასი 1 მან. 35 კაპ.

საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის სტამბა, თბილისი, 380060, კუტუზოვის ქ., 19
Издательство «Мецниერება», Тбилиси, 380060, ул. Кутузова, 19

გამომცემლობა „მეცნიერება“, თბილისი, 380060, კუტუზოვის ქ., 19
Типография АН Груз. ССР, Тбилиси, 380060, ул. Кутузова, 19